



TUGAS AKHIR - SF 141501

FABRIKASI DAN KARAKTERISASI
DIRECTIONAL COUPLER KONFIGURASI 4×4
PADA BAHAN SERAT OPTIK PLASTIK *STEP*
INDEX MULTIMODE TIPE FD-620-10

RACHMAD JANUAR
NRP 1112 100 024

Dosen Pembimbing
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si.

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - SF 141501

FABRICATION AND CHARACTERIZATION
OF DIRECTIONAL COUPLER WITH
CONFIGURATION OF 4×4 PLASTIC
OPTICAL FIBER MULTIMODE STEP-INDEX
TYPE FD-620-10

RACHMAD JANUAR
NRP 1112 100 024

Advisor
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si.

Physics Department
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DIRECTIONAL*
COUPLER KONFIGURASI 4×4 PADA BAHAN SERAT
OPTIK PLASTIK *STEP INDEX MULTIMODE*
TIPE FD-620-10**

TUGAS AKHIR

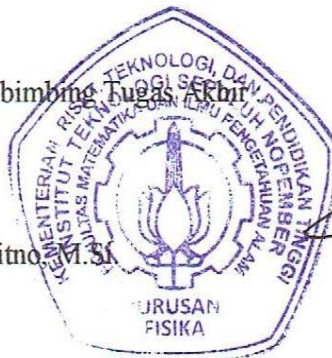
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Optoelektronika
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Rachmad Januar
NRP. 1112 100 024

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Drs. Gontjang Prajitno, M.Si



(.....) *[Signature]*

SURABAYA, JULI 2016

FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DIRECTIONAL COUPLER* KONFIGURASI 4×4 PADA BAHAN SERAT OPTIK PLASTIK *STEP INDEX MULTIMODE* TIPE FD-620-10

Nama : Rachmad Januar
NRP : 1112 100 024
Jurusan : Fisika FMIPA-ITS
Pembimbing : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si.

Abstrak

Dalam penelitian ini telah dilakukan fabrikasi dan karakterisasi Directional coupler konfigurasi 4×4 susunan planar dan susunan persegi pada bahan serat optik plastik step index multimode tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm dan 55 mm menggunakan pendekatan metode Fused Biconical Tapered (FBT) yang menghasilkan hasil karakterisasi yang berbeda serta memenuhi standar fabrikasi. Hasil karakterisasi directional coupler menggunakan BF5R-D1-N didapatkan bahwa directional coupler dengan susunan persegi lebih baik dibandingkan dengan susunan planar dalam hal pembagian daya pada setiap port keluaran. Directional coupler hasil fabrikasi susunan persegi dengan panjang kupasan 35 mm dan input pada Port B1 menunjukkan bahwa nilai $CR = 0,24 : 0,28 : 0,27 : 0,21$ dan $Le = -3,39$ dB, sedangkan pada port D1 menunjukkan bahwa nilai $CR = 0,25 : 0,23 : 0,25 : 0,27$ dan $Le = -3,28$ dB. Piranti ini paling baik digunakan sebagai pembagi daya maupun pemecah berkas sehingga selanjutnya dapat digunakan sebagai piranti dalam sensor.

Kata Kunci: *directional coupler, fabrikasi, karakterisasi persegi, planar.*

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF DIRECTIONAL COUPLER WITH CONFIGURATION OF 4×4 PLASTIC OPTICAL FIBER MULTIMODE STEP- INDEX TYPE FD-620-10

By : Rachmad Januar
Student Identity : 1112 100 024
Department : Physics FMIPA-ITS
Advisor : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si.

Abstract

Research about fabrication and characterization of directional coupler with configuration of 4×4 plastic optical fiber multimode step index type FD-620-10 has been arranged with shape of planar and squared used peeling length 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm and 55 mm. . The method used in this research is Fused Biconical Tapered (FBT) approximation method which resulting different characterization result and has complied with standard fabrication. Characterization of directional coupler using BF5R-D1-N was found that the directional coupler with a square arrangement is better than the planar arrangement in the distribution of power on each output port. Directional coupler fabrication arrangement results square with peeling length of 35 mm and input on Port B1 shows that the value of CR = 0.24: 0.28: 0.27: 0.21 and Le = -3.39 dB, while at port D1 shows that the value of CR = 0.25: 0.23: 0.25: 0.27 and Le = -3.28 dB. This tool is best used as a power divider and the beam splitter that can then be used as a tool in the sensor.

Keywords: *characterization, directional coupler, fabrication, planar, square.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
 BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Serat Optik (<i>fiber optik</i>)	7
2.2 Pemantulan Dalam Total	9
2.3 Tingkap Numerik/ <i>Numerical Aperture</i>	10
2.4 Pandu Gelombang <i>Directional Coupler</i>	12
2.5 <i>Directional Coupler</i> Konfigurasi 4×4	15
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Alat dan Bahan	21
3.2 Diagram Kerja Penelitian	21
3.2.1 Tahap Persiapan	22
3.2.2 Tahap Fabrikasi <i>Directional Coupler</i>	24
3.2.3 Tahap Uji Kerataan	29

3.2.4 Tahap Penggandengan	32
3.2.5 Karakterisasi <i>Directional Coupler</i>	36
BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Fabrikasi <i>Directional Coupler</i>	39
4.2 Hasil Karkterisasi <i>Directional Coupler</i> Susunan Planar dan Susunan Persegi Menggunakan BF5R-D1-N	40
4.2.1 Hasil Karkterisasi Susunan Planar	40
4.2.2 Hasil Karakterisasi Susunan Persegi	49
4.3 Pembahasan	59
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73
Biodata Penulis	115

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi BF5R-D1-N	36
Tabel 4.1	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> susunan planar dengan Daya <i>Input</i> pada Port A1	41
Tabel 4.2	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> susunan planar dengan Daya <i>Input</i> pada Port B1	41
Tabel 4.3	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> susunan planar dengan Daya <i>Input</i> pada Port C1	41
Tabel 4.4	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> susunan planar dengan Daya <i>Input</i> pada Port D1	42
Tabel 4.5	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal <i>Input</i> pada Port A1	42
Tabel 4.6	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal <i>Input</i> pada Port B1	42
Tabel 4.7	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal <i>Input</i> pada Port C1	43
Tabel 4.8	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal <i>Input</i> pada Port D1	43
Tabel 4.9	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> Susunan Planar dengan Panjang Kupasan 35 mm	46
Tabel 4.10	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> Susunan Planar dengan Panjang Kupasan 40 mm	46
Tabel 4.11	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> Susunan Planar dengan Panjang Kupasan 45 mm	47
Tabel 4.12	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> Susunan Planar dengan Panjang Kupasan 50 mm	48
Tabel 4.13	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> Susunan Planar dengan Panjang Kupasan 55 mm	49

Tabel 4.14	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> susunan persegi dengan Daya <i>Input</i> pada Port A1	50
Tabel 4.15	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> susunan persegi dengan Daya <i>Input</i> pada Port B1	50
Tabel 4.16	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> susunan persegi dengan Daya <i>Input</i> pada Port C1	50
Tabel 4.17	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> susunan persegi dengan Daya <i>Input</i> pada Port D1	51
Tabel 4.18	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> konfigurasi 4×4 Susunan Persegi dengan Sinyal <i>Input</i> pada Port A1	51
Tabel 4.19	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> konfigurasi 4×4 Susunan Persegi dengan Sinyal <i>Input</i> pada Port B1	51
Tabel 4.20	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> konfigurasi 4×4 Susunan Persegi dengan Sinyal <i>Input</i> pada Port C1	42
Tabel 4.21	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> konfigurasi 4×4 Susunan Persegi dengan Sinyal <i>Input</i> pada Port D1	42
Tabel 4.22	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> Susunan Persegi dengan Panjang Kupasan 35 mm	55
Tabel 4.23	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> Susunan Persegi dengan Panjang Kupasan 40 mm	56
Tabel 4.24	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> Susunan Persegi dengan Panjang Kupasan 45 mm	56
Tabel 4.25	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> Susunan Persegi dengan Panjang Kupasan 50 mm	57
Tabel 4.26	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> Susunan Persegi dengan Panjang Kupasan 45 mm	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur dasar penyusun serat optik	7
Gambar 2.2	Struktur serat optik <i>multimode step-index</i> dan <i>gradded-index</i> serta profil indeks biasnya	8
Gambar 2.3	Pemantulan dan pembiasan berkas cahaya pada bidang batas dua medium	9
Gambar 2.4	Mekanisme perambatan sinar pada serat optik <i>step index</i>	11
Gambar 2.5	<i>Coupling</i> cahaya pada dua pandu gelombang planar	12
Gambar 2.6	Struktur <i>coupler</i> tipe 4×4 untuk serat optik plastik	16
Gambar 2.7	Hubungan <i>couling ratio</i> dengan variasi panjang <i>coupling</i>	17
Gambar 3.1	Diagram alir tahapan penelitian	22
Gambar 3.2	Desain rancangan alat pengupas <i>coating</i> dan <i>cladding</i>	23
Gambar 3.3	Alat pengupas <i>coating</i> dan <i>cladding</i>	24
Gambar 3.4	Proses pengupasan <i>coating</i> dan <i>cladding</i>	25
Gambar 3.5	Hasil kupasan serat optik metode A	26
Gambar 3.6	Hasil kupasan serat optik metode B	27
Gambar 3.7	Proses pemolesan	28
Gambar 3.8	Proses Uji Kerataan	29
Gambar 3.9	Panjang kupasan 35 mm Port C	30
Gambar 3.10	Panjang kupasan 35 mm Port C dengan dimasukkan sinar laser	31
Gambar 3.11	Tahap penggandengan <i>directional coupler</i>	33
Gambar 3.12	susunan planar Tahap penggandengan <i>directional coupler</i> susunan persegi	34
Gambar 3.13	Proses tahap penggandengan <i>directional coupler</i>	34
Gambar 3.14	Desain hasil fabrikasi <i>directional coupler</i>	35

Gambar 3.15	<i>Set up</i> alat pada proses karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N pada <i>directional coupler</i>	37
Gambar 3.16	Proses karakterisasi <i>directional coupler</i> menggunakan BF5R-D1-N	38
Gambar 4.1	<i>Directional coupler</i> dengan susunan planar	39
Gambar 4.2	<i>Directional coupler</i> dengan susunan persegi	40
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap <i>Output</i> dengan Port A1 sebagai Sinyal <i>Input</i>	44
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap <i>Output</i> dengan Port B1 sebagai Sinyal <i>Input</i>	44
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap <i>Output</i> dengan Port C1 sebagai Sinyal <i>Input</i>	45
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap <i>Output</i> dengan Port D1 sebagai Sinyal <i>Input</i>	45
Gambar 4.7	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap <i>Output</i> dengan Port A1 sebagai Sinyal <i>Input</i>	53
Gambar 4.8	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap <i>Output</i> dengan Port B1 sebagai Sinyal <i>Input</i>	53
Gambar 4.9	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap <i>Output</i> dengan Port C1 sebagai Sinyal <i>Input</i>	54
Gambar 4.10	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap <i>Output</i> dengan Port D1 sebagai Sinyal <i>Input</i>	54
Gambar 4.11	Perbandingan nilai <i>coupling ratio</i> susunan planar dan susunan persegi pada Port masukan A1 dengan variasi panjang kupasan	63

Gambar 4.12	Perbandingan nilai <i>coupling ratio</i> susunan planar dan susunan persegi pada Port masukan B1 dengan variasi panjang kupasan	63
Gambar 4.13	Perbandingan nilai <i>coupling ratio</i> susunan planar dan susunan persegi pada Port masukan C1 dengan variasi panjang kupasan	64
Gambar 4.14	Perbandingan nilai <i>coupling ratio</i> susunan planar dan susunan persegi pada Port masukan D1 dengan variasi panjang kupasan	64

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data Hasil Karakterisasi <i>Diectional Coupler</i> Konfigurasi 4×4 Susunan Planar dan Persegi Menggunakan BF5R-D1-N	73
Lampiran B	<i>Data Sheet</i> Serat Optik FD-620-10	111

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Serat optik merupakan media transmisi atau pandu gelombang cahaya berbentuk silinder yang dikembangkan diakhir tahun 1960-an sebagai jawaban atas perkembangan sistem komunikasi yang semakin lama membutuhkan *bandwidth* yang besar dengan laju transmisi yang tinggi (Samian, 2008). Aplikasi komunikasi serat optik (*fiber optic*) telah dengan melaju pesat, sejak pemasangan sistem serat optik komersial pertama tahun 1977. Selain digunakan sebagai sistem komunikasi, fiber optik dimanfaatkan sebagai sensor untuk mengukur berbagai parameter seperti temperatur, pergeseran, kelembaban, tekanan, laju aliran fluida, laju rotasi, konsentrasi suatu larutan, serta analisis kimia. Keunggulan serat optik sebagai sensor diantaranya yaitu tidak kontak langsung dengan obyek pengukuran, tidak menggunakan arus listrik, akurasi pengukuran yang tinggi, tidak terpengaruh oleh medan listrik maupun medan magnet, dapat dimonitor jarak jauh, dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data melalui perangkat antar muka (*interface*) serta dimensinya kecil dan ringan. Prinsip kerja dari serat optik sebagai sensor berbasis pada modulasi panjang gelombang, modulasi intensitas, dan modulasi fase cahaya sebagai isyarat (Pramono, 2008).

Dalam perkembangannya, serat optik tidak hanya berfungsi mentransmisikan informasi tetapi berkembang menjadi divais optik dengan fungsi lebih luas. Piranti optik tersebut dapat berbentuk *coupler* dengan berbagai macam variasinya seperti *directional coupler*, *Y coupler* dan *star coupler* yang berfungsi sebagai *optical switching*, *multiplexing*, *demultiplexing* pada perangkat WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), pemecah berkas (*beam splitter*) dan pemecah daya atau *power divider*. kajian teoritis dan eksperimen tentang *directional coupler* sebagai piranti *multiplexing* sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu diantaranya adalah pembuatan *directional coupler*

menggunakan substrat LiNbO_3 , gelas, dan semikonduktor yang berbentuk pandu gelombang *slab* (Rohedi, 1997)

Coupler merupakan piranti optik pasif yang berfungsi sebagai penggabung dua atau lebih panjang gelombang atau sinyal menjadi dua atau lebih. *Directional coupler* adalah termasuk coupler yang paling dikembangkan. Terdapat beberapa metode pembuatan *directional coupler* berbahan serat optik plastik yang digunakan sebagai piranti komunikasi jarak pendek. Fabrikasi *directional coupler singlemode* maupun *multimode* berbentuk pandu gelombang *slab* masih sulit dilakukan dan banyak membutuhkan peralatan yang rumit. Kendala tersebut dapat diatasi dengan melakukan fabrikasi *directional coupler* menggunakan metode *Fused Biconical Tapered* (FBT), yaitu dengan menggabungkan sejumlah serat optik pada panjang kopling tertentu sehingga menjadi *directional coupler* dengan N-port (Sekartedjo dkk, 2007).

Metode fabrikasi yang digunakan pada serat optik berbahan plastik telah banyak dikembangkan, antara lain metode *side-polishing*, *twisting and fusing*, *molding*, *mixing rods*, *using hollow waveguide*, and *polymer rectangular waveguide*. Penelitian terbaru oleh peneliti asal korea yaitu fabrikasi serat optik plastik konfigurasi N×N dengan menggunakan metode *heating and pressing* (Kwang Taek Kim, 2013).

Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 2×2 telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Diantaranya yaitu *directional coupler* dari bahan serat optik *plastic step index multimode* tipe FD-320-05 (200/500 μm) telah dilakukan dengan metode *Fused Biconical Tapered* yang digunakan untuk pembagi daya (*power divider*). *Directional coupler* yang dihasilkan memiliki *coupling ratio* 0,31 pada panjang interaksi kopling antar serat optik 25 mm (Supadi, 2006).

Penelitian berikutnya yaitu fabrikasi *directional coupler* pada bahan serat optik *plastic step index multimode* tipe FD-620-10 (950/1000 μm) yang mudah diperoleh di pasaran dengan panjang kopling lebih besar dari 25 mm diperoleh nilai *coupling ratio* 0,498 yang sesuai untuk piranti pembagi daya (*power divider*)

(Hariyanto, 2011). Rahayu dan Yudoyono melanjutkan penelitian Hariyanto memfabrikasi *directional coupler* dan *double coupler* dengan bahan yang sama namun dengan panjang kopling berbeda. Diharapkan *directional coupler* dan *double coupler* yang memenuhi standar fabrikasi, yaitu dengan nilai *coupling ratio* 0,491 pada *directional coupler* dan 0,492 pada *double coupler* dengan panjang kopling 34 mm. Sedangkan pada penelitian fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 sudah mulai banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti dalam negeri. Diantaranya yaitu fabrikasi *directional coupler* pada serat optik *plastic step index multimode* tipe FD-620-10 (950/1000 μm) dengan metode *Fused Biconical Tapered*. Diharapkan *directional coupler* dengan *coupling ratio* yang paling baik pada panjang kupasan atau panjang kopling 60 mm sebesar 0,345 (Yaqin, 2015).

Sementara *directional coupler* konfigurasi 4×4 masih jarang difabrikasi oleh peneliti-peneliti Indonesia. Padahal sudah mulai banyak difabrikasi dan dimanfaatkan oleh peneliti luar negeri. Misalnya analisa *coupler* menggunakan pandu gelombang inti model persegi panjang (*rectangular*) (Kumar dkk, 1989), penelitian tentang analisa gabungan fiber dengan *coupler* 4×4 (Mortimore, 1990), dan juga fabrikasi *PSK homodyne receiver* dengan *directional coupler* 4×4 didapatkan kinerja terbaik pada *receiver* dihasilkan oleh pembagi daya yang sama, serta desain *coupler* 4×4 dengan membagi daya yang sama pada panjang gelombang yang berbeda (Kumar, 1991).

Dalam penelitian ini, *directional coupler* konfigurasi 4×4 difabrikasi dengan dua macam susunan yaitu planar dan persegi menggunakan bahan serat optik plastik *step index multimode* (moda jamak) tipe FD-620-10 dengan metode *Fused Biconical Tapered* (FBT) pada variasi panjang kupasan yaitu 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm dan 55 mm.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana fabrikasi dan karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 dengan dua macam susunan penggabungan yaitu susunan planar dan persegi berbahan serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm dan 55 mm.

1.3 Batasan Masalah

Mengingat luasnya ruang lingkup penelitian ini, maka perlu diberikan batasan masalah agar tidak menyimpang dari tujuan dan perumusan masalahnya. Batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 dalam susunan planar dilakukan menggunakan serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm dan 55 mm dengan metode *fused biconical tapered*.
2. Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 dalam susunan persegi dilakukan menggunakan serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm dan 55 mm dengan metode *fused biconical tapered*.
3. Karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 planar menggunakan BF5R-D1-N buatan *autonics* yang merupakan sensor khusus untuk menganalisis daya keluaran yang diterima dari fiber optik. Sumber yang digunakan adalah *digital indicating type fiber optic sensor* (BF5R-D1-N) yang disambungkan pada *power supply*. Sensor ini memiliki lubang masukan berupa cahaya merah (660 nm) dan lubang keluaran berupa foto detektor dengan mengetahui intensitas keluaran pada ketujuh port sehingga diperoleh parameter – parameter *coupling ratio* (CR), *directivity* (D), *excess loss* (Le) dan *insertion loss* (Lins).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah memfabrikasi dan mengkarakterisasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 dengan dua macam susunan penggabungan yaitu susunan planar dan persegi berbahan serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm dan 55 mm..

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan kebermanfaatan diantaranya hasil fabrikasi dan karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 baik susunan planar maupun persegi dapat dimanfaatkan sebagai piranti sensor untuk mengukur beberapa parameter dan juga dapat dimanfaatkan sebagai pembagi berkas (*beam splitter*) atau pembagi daya (*power divider*).

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan, berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika laporan.
2. Bab II Tinjauan Pustaka, berisi teori yang menunjang penelitian dan analisis.
3. Bab III Metodologi, berisi peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian serta uraian lengkap tahapan penelitian.
4. Bab IV Hasil dan Pembahasan, berisi data hasil fabrikasi dan karakterisasi yang dilakukan serta analisis dan pembahasan.
5. Bab V Kesimpulan dan Saran, berisi kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian lebih lanjut.

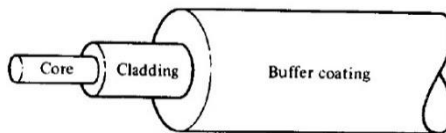
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serat Optik

Serat optik merupakan dielektrik yang berfungsi memandu gelombang sebagai media transmisi gelombang cahaya yang berbentuk silinder dan biasanya terbuat dari bahan plastik atau *silica*. Pada umumnya, serat optik terdiri dari tiga bagian yaitu inti (*core*), kulit (*cladding*), dan jaket (*coating*). Struktur penyusun serat optik ini masing-masing memiliki karakteristik, bagian *core* merupakan jalur utama pemanduan gelombang cahaya yang mempunyai indeks bias terbesar n_1 . Lapisan selanjutnya bagian *cladding* mempunyai indeks bias n_2 yang nilainya sedikit lebih rendah daripada n_1 . Serta bagian terluar dari serat optik (*coating*) berfungsi sebagai pelindung bagian didalamnya, struktur dasar penyusun serat optik diperlihatkan pada Gambar 2.1 (Keiser, 1991).



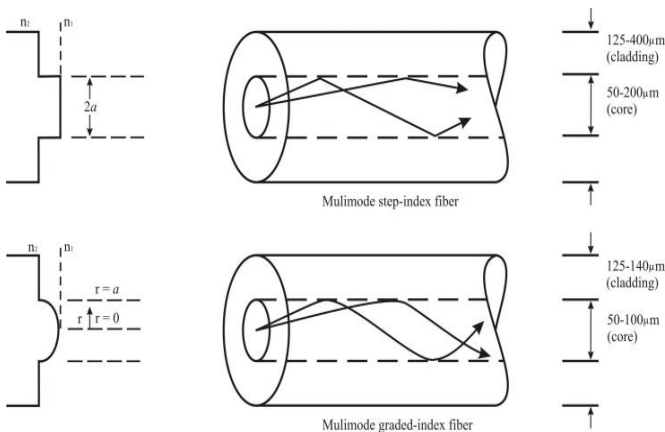
Gambar 2.1 Struktur dasar penyusun serat optik (Keiser, 1991)

Serat optik terbagi menjadi beberapa jenis antara lain berdasarkan struktur dan sifat transmisinya dan berdasarkan penjararan gelombang yang melalui inti. Berdasarkan struktur dan sifat transmisinya, serat optik dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu serat optik moda tunggal (*single mode fiber*) dan serat optik moda jamak (*multimode fiber*) (Keiser, 1991). Pada serat optik moda tunggal, ukuran inti kecil sehingga pada serat hanya dapat menyalurkan satu moda. Sedangkan pada serat optik moda jamak, ukuran inti lebih besar sehingga moda yang menyalurkan lebih dari satu. Skala ukuran dari serat optik moda tunggal adalah

mikrometer, sedangkan untuk serat optik moda jamak adalah milimeter (Crisp dan Elliott, 2005).

Sedangkan, berdasarkan penjalaran gelombang yang melalui inti, serat optik terbagi menjadi dua macam, yaitu serat optik *step index* dan serat optik *graded-index*. Serat optik *step index* merupakan serat optik yang memiliki *core* (inti) dengan indeks bias homogen (n_1) dan terjadi perubahan indeks bias secara tak tentu antara *core* dan *cladding*. Sedangkan pada serat optik *graded-index*, *core* (inti) memiliki indeks bias paling besar, semakin ke arah *cladding* semakin kecil. Pada dasarnya cahaya disebarkan melalui *core* dengan cara pemantulan dalam total (Leno dan Frank, 1993). Selisih indeks bias antara *core* dan *cladding* didefinisikan sebagai fraksi indeks bias.

Perbandingan struktur serat optik *multimode step-index* dan *graded-index* serta distribusi index bisa diperlihatkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Struktur serat optik *multimode step-index* dan *graded-index* serta profil indeks biasnya (Keiser, 1984)

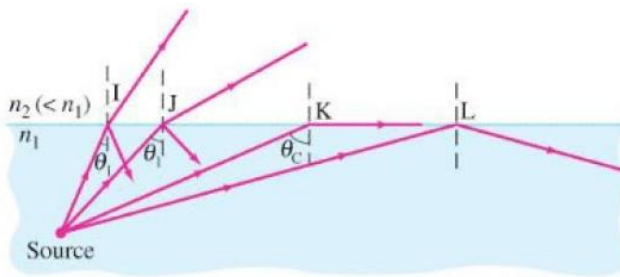
2.2 Pemantulan Dalam Total

Indeks bias medium dielektrik pada serat optik mempengaruhi laju penjaralan cahaya di dalamnya. Perbedaan indeks bias pada medium dielektrik memunculkan adanya medium rapat dan renggang. Kecepatan cahaya yang merambat di dalam medium yang rapat lebih rendah daripada di dalam medium yang renggang (Widodo, 1995). Indeks bias n medium didapatkan dari persamaan berikut:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

dimana c adalah kecepatan cahaya di dalam ruang hampa udara (3×10^8 m/s) dan v adalah kecepatan cahaya di dalam medium. (note: nilai n selalu lebih besar dari 1; untuk kaca, n antara 1,4 dan 1,5). Syarat terjadinya pemantulan dalam total, indeks bias medium sinar datang (*core*) harus lebih besar dibandingkan indeks bias medium sinar bias (*cladding*). Transmisi gelombang melalui bidang batas dua medium dielektrik yang berbeda berlaku Hukum Snellius dan secara matematis dapat dituliskan sebagai (Power, 1997):

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t, \quad (2.2)$$



Gambar 2.3 Pemantulan dan pembiasan berkas cahaya pada bidang batas dua medium. Untuk $n_2 < n_1$, berkas cahaya dipantulkan dengan sudut $\theta_i > \theta_c$ (Giancoli, 2005)

dimana θ_i adalah sudut datang dan θ_t adalah sudut bias. Dari hubungan ini, θ_t mencapai 90° ketika θ_i mencapai nilai:

$$\theta_i = \theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.3)$$

dimana θ_c disebut sudut kritis sinar datang. Sinar datang dengan sudut yang sama atau lebih besar dari sudut kritis akan dipantulkan kembali ke medium 1. Inilah prinsip pantulan dalam total yang memandu cahaya di dalam serat optik tanpa rugi daya. Sedangkan cahaya dengan sudut datang di bawah sudut kritis, sebagian dibiaskan dan sebagian dipantulkan, rugi daya disebabkan oleh berkas sinar yang dibiaskan (Power, 1997).

2.3 Tingkap Numerik/*Numerical Aperture*

Syarat agar sinar dapat terpandu di dalam *core* serat optik, perlu diperhatikan sudut sinar masukan maksimum agar dihasilkan sinar yang membentuk sudut kritis. Sehingga hukum Snellius juga diterapkan pada bidang batas antara udara dan core sebagai berikut :

$$n_0 \sin \theta_{0,max} = n_1 \sin \theta_t \quad (2.4)$$

karena $\theta_t = \frac{\pi}{2} - \theta_c$, maka persamaan (2.4) menjadi :

$$n_0 \sin \theta_{0,max} = n_1 \cos \theta_c \quad (2.5)$$

dengan menggunakan relasi trigonometri $\sin^2 \theta_c + \cos^2 \theta_c = 1$, persamaan (2.6) dapat ditulis sebagai:

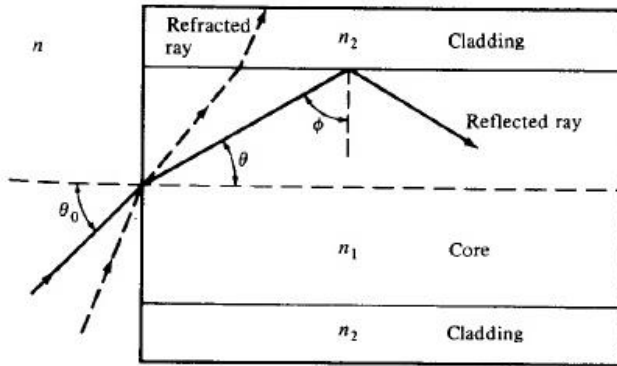
$$n_0 \sin \theta_{0,max} = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c} \quad (2.6)$$

Substitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.6), didapatkan :

$$\begin{aligned} n_0 \sin \theta_{0,max} &= n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} \\ n_0 \sin \theta_{0,max} &= n_1 \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \end{aligned} \quad (2.7)$$

maka sinar yang memiliki sudut masukan θ_0 lebih kecil dari $\theta_{0,max}$ akan dipantulkan seluruhnya pada bidang antarmuka core-cladding. Persamaan (2.7) juga didefinisikan sebagai tingkap numerik atau *numerical aperture* NA yang menyatakan hubungan sudut sinar masukan dengan indeks bias ketiga medium (udara, core dan cladding) (Keiser, 1991).

$$NA = n_0 \sin \theta_{0,max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.8)$$



Gambar 2.4 Mekanisme peambatan sinar pada serat optik *step index* (Keiser, 1991)

Perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding* (Δ) didefinisikan sebagai fraksi indeks bias yang dapat dituliskan seperti pada persamaan (2.1). Selisih nilai n_1 dan n_2 sangat kecil, sehingga nilai Δ juga kecil. Untuk nilai $\Delta < 1$, disebut desain pandu gelombang yang terpandu lemah (Power, 1997). Nilai Δ untuk serat optik *multimode* berkisar pada rentang 1% hingga 3%, sedangkan untuk serat optik *singlemode* berkisar pada rentang 0,2% hingga 1% (Keiser, 1991). Dengan demikian, persamaan (2.9) juga dapat dinyatakan dengan:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2.9)$$

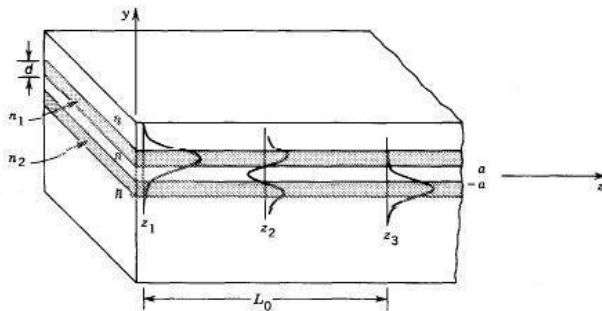
$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.10)$$

Nilai NA pada serat optik *step-index* berkisar pada rentang 0,2 hingga 0,5 sedangkan pada serat optik *graded-index* berada di sekitar 0,2 (Hoss, 1993). Untuk serat optik *step-index multimode* dari bahan plastik berdiameter *core* besar, nilai NA berkisar pada rentang 0,3-0,5 (Krohn, 2000).

2.4 Pandu Gelombang *Directional Coupler*

Dalam mode terpandu, masing-masing mode normal saling ortogonal dan saling bebas tanpa kopling dan mengangkut daya cahaya dengan tidak dipengaruhi oleh perambatan mode gelombang yang lain. Tetapi dalam sistem pandu gelombang yang terkopel, mode-mode normal satu sama lain tidak lagi merambat saling bebas, melainkan saling terkopel bersama (Rubiyanto dan Rohedi, 2003).

Jika dua pandu gelombang berada pada jarak yang sedemikian dekat, maka cahaya terpandu dari salah satu pandu gelombang dapat terkopel pada pandu gelombang lainnya. Dengan kata lain, terjadi proses transfer daya optik antar pandu gelombang. Untuk kasus *coupling* antara dua pandu gelombang planar diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.5 *Coupling* cahaya pada dua pandu gelombang planar (Saleh dan Teich, 2007)

Analisis secara eksak dari proses pengkopelan cahaya pada pandu gelombang sangatlah sulit, tetapi untuk kopling lemah penggunaan teori mode terkopel masih memadai. Teori moda terkopel di gunakan dengan asumsi bahwa moda pada masing-masing pandu gelombang sebelum terkopel (salah satu pandu gelombang belum ada) adalah sama.

Proses kopling dianggap sebagai efek hamburan yang artinya medan pada pandu gelombang pertama merupakan hamburan

medan dari pandu gelombang kedua, demikian pula sebaliknya. Analisis saling interaksi antara dua pandu gelombang tersebut merujuk pada persamaan differensial orde satu yang saling terkopel dengan perubahan terjadi pada amplitudo $a_1(z)$ dan $a_2(z)$, kedua persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$$\frac{da_1}{dz} = -jC_{21} \exp(j\Delta\beta z) a_2(z) \quad (2.11a)$$

$$\frac{da_2}{dz} = -jC_{12} \exp(j\Delta\beta z) a_1(z) \quad (2.11b)$$

dengan :

$$\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2 \quad (2.12)$$

$$C_{21} = \frac{1}{2}(n_2^2 - n^2) \frac{k_0^2}{\beta_1} \int_a^{a+d} u_1(y) u_2(y) dy \quad (2.13a)$$

$$C_{12} = \frac{1}{2}(n_1^2 - n^2) \frac{k_0^2}{\beta_2} \int_{-a-d}^{-a} u_2(y) u_1(y) dy \quad (2.13b)$$

Persamaan 2.11a dan 2.11b menyatakan persamaan moda terkopel sedangkan dan merupakan koefisien kopling. Apabila ada dua pandu gelombang sejajar dengan asumsi hanya pandu gelombang satu saja yang di beri cahaya masukan, maka medan untuk $a_2(0) = 0$. Solusi untuk kasus seperti ini dapat diselesaikan dengan mengubah persamaan 2.11 menjadi :

$$\frac{d^2 a_1}{dz^2} = -j\Delta\beta \frac{da_1}{dz} + C_{12}C_{21}a_1 = 0 \quad (2.14)$$

Solusi dari persamaan 2.14 adalah :

$$a_1(z) = K' \exp(D'z) + K'' \exp(D''z) \quad (2.15)$$

dengan:

$$D' = j \left(\frac{\Delta\beta}{2} + \gamma \right) \quad (2.16a)$$

$$D'' = j \left(\frac{\Delta\beta}{2} - \gamma \right) \quad (2.16b)$$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{\Delta\beta}{2} \right)^2 + C_{12}C_{21}} \quad (2.16c)$$

Pada persamaan 2.15, K' dan K'' suatu konstanta yang nilainya dapat dicari dengan menggunakan dua syarat batas. Syarat batas pertama yaitu $a_1(0)$ dengan $z = 0$, sehingga didapatkan persamaan:

$$a_1(0) = K' + K'' \quad (2.17)$$

Karena *input* dari pandu gelombang kedua tidak diberi cahaya atau $a_2(0) = 0$, maka syarat batas kedua adalah :

$$\left. \frac{da_1}{dz} \right|_{z=0} = 0 \quad (2.18)$$

Sehingga didapatkan nilai K' dan K'' adalah :

$$K' = -\frac{D_2}{D_1} K'' \quad (2.19a)$$

$$K'' = \frac{D_1}{D_1 - D_2} a_1(0) \quad (2.19b)$$

Kemudian dengan memasukkan nilai D_1 dan D_2 dan mensubstitusi persamaan 2.19a dan 2.19b ke persamaan 2.15, maka diperoleh besar nilai $a_1(z)$ dan $a_2(z)$ adalah :

$$a_1(z) = a_1(0) \exp\left(j \frac{\Delta\beta}{2} z\right) \left(\cos \gamma z + \frac{\Delta\beta}{2j\gamma} \sin \gamma z\right) \quad (2.20a)$$

$$a_2(z) = a_1(0) \frac{c_{12}}{j\gamma} \exp\left(-j \frac{\Delta\beta}{2} z\right) \sin \gamma z \quad (2.20b)$$

Persamaan 2.20a dan 2.20b merupakan medan listrik *directional coupler* dengan salah satu *coupling* saja yang diberi cahaya. Akibatnya daya optik pada kedua pandu gelombang dinyatakan:

$$P(z) \sim |a(z)|^2 \quad (2.21)$$

Karena pada pandu gelombang pertama dan pandu gelombang kedua memiliki indeks bias yang sama, maka $\Delta\beta$ sama dengan 0. Sehingga dari persamaan 2.21, daya optik yang menjalar pada masing-masing pandu gelombang adalah :

$$P_1(z) = P_0 \left(\cos^2 \gamma z + \left(\frac{\Delta\beta}{2\gamma} \right)^2 \sin^2 \gamma z \right) \quad (2.22a)$$

$$P_1(z) = P_0 \left(\frac{c_{12}}{\gamma} \right)^2 \sin^2 \gamma z \quad (2.22b)$$

Sedangkan apabila terdapat dua buah pandu gelombang yang masing-masing diberi cahaya dan memiliki daya yang sama seperti permasalahan *directional double coupler* yang terdapat pada *coupling* kedua, maka akan berlaku $a_1(0) = a_2(0) = a_0$. Adapun cara mencari medan listrik pada setiap pandu gelombang hampir sama, hanya saja berbeda syarat batas pada pandu gelombang kedua. Pada pandu gelombang pertama berlaku syarat batas pertama $a_1(0)$ dengan $z = 0$, sehingga didapatkan persamaan sama

seperti 2.17. Sedangkan syarat batas kedua adalah $a_1(0) = a_2(0) = a_0$, sehingga diperoleh persamaan :

$$\left. \frac{da_1}{dz} \right|_{z=0} = -jC_{21}a_0 \quad (2.23)$$

Dari kedua syarat batas ini dan hasil substitusi nilai D_1 dan D_2 , maka didapat nilai K' dan K'' sebagai berikut :

$$K' = -\frac{a_0}{2\gamma} \left(\frac{\Delta\beta}{2} - \gamma + C_{21} \right) \quad (2.24a)$$

$$K'' = \frac{a_0}{2\gamma} \left(\frac{\Delta\beta}{2} + \gamma + C_{21} \right) \quad (2.24b)$$

Selanjutnya persamaan 2.24a dan 2.24b disubstitusikan dalam persamaan 2.15, sehingga didapatkan solusi persamaan untuk $a_1(z)$ adalah :

$$a_1(z) = a_0 \exp \left(j \frac{\Delta\beta}{2} z \right) \left(\cos \gamma z - \left(\frac{\Delta\beta}{2\gamma} + \frac{C_{21}}{\gamma} \right) j \sin \gamma z \right) \quad (2.25a)$$

$$a_2(z) = a_0 \exp \left(j \frac{\Delta\beta}{2} z \right) \left(\cos \gamma z + \left(\frac{\Delta\beta}{2\gamma} - \frac{C_{21}}{\gamma} \right) j \sin \gamma z \right) \quad (2.25b)$$

Persamaan 2.25a dan 2.25b merupakan medan listrik *directional double coupler* dengan kedua pandu gelombang diberi cahaya. Karena pada pandu gelombang pertama dan pandu gelombang kedua memiliki indeks bias yang sama, maka $\Delta\beta$ sama dengan 0. Sehingga dari persamaan 2.22, daya optik yang menjalar pada masing-masing pandu gelombang adalah :

$$P_1(z) = P_0 \left(\cos^2 \gamma z + \frac{C_{21}^2}{\gamma} \sin^2 \gamma z \right) \quad (2.26a)$$

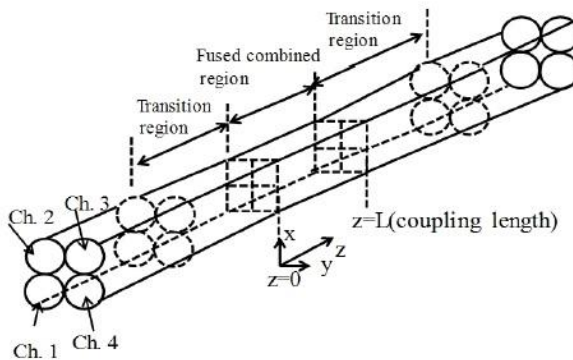
$$P_2(z) = P_0 \left(\cos^2 \gamma z + \frac{C_{21}^2}{\gamma} \sin^2 \gamma z \right) \quad (2.26b)$$

Berdasarkan persamaan 2.43a dan 2.43b terlihat bahwa ketika kedua pandu gelombang diberi cahaya maka akan menghasilkan daya optik keluaran yang besarnya sama (Saleh dan Teich, 2007).

2.5 Directional Coupler Konfigurasi 4×4

Fabrikasi serat optik plastik menjadi *directional coupler* selain menggunakan metode FBT, terdapat banyak metode lainnya untuk mendapatkan *couplers* untuk tipe serat optik plastik seperti *side-polishing*, *twisting and fusing*, *molding*, *mixing rods*, *using hollow taper waveguide*, *one dimensional layer cavity* dan *polymer*

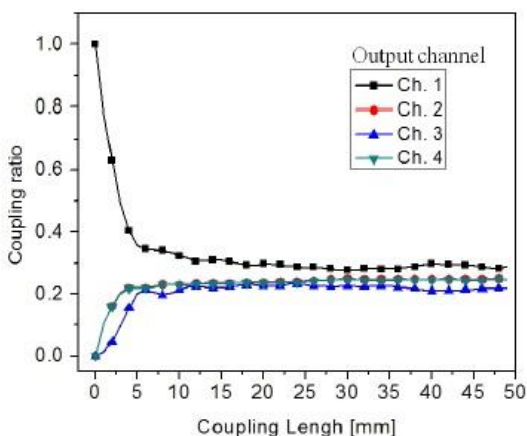
rectangular waveguide. Metode yang telah disebutkan merupakan metode yang memakan banyak waktu dan membutuhkan teknologi yang canggih. Peneliti asal Korea baru-baru ini membuat *couplers* jenis 4×4 dengan metode pemanasan dan penekanan yang dapat menghasilkan rugi daya yang kecil (Kwang Taek Kim, 2013). Karakteristik 4×4 *coupler* berdasarkan eksperimen oleh Peneliti asal Korea (Kwang Taek Kim, 2013).



Gambar 2.6 Struktur *coupler* tipe 4×4 untuk serat optik plastik

Struktur *star coupler* untuk tipe serat optik plastik ditunjukkan pada gambar 2.7. Pada dasarnya, beberapa serat optik plastik (POF) disusun bersama dalam alur persegi panjang, dan kemudian menyatu menjadi satu bentuk yang solid dengan cara pemanasan dan penekanan. Pada daerah transisi, hal ini dimaksudkan bahwa setiap POF adalah konversi secara adiabatik dari bentuk melingkar asli ke bentuk persegi tanpa perubahan luas penampang. Oleh karena itu, tidak ada diskontinuitas struktural sepanjang arah membujur dari gabungan, yang mengurangi *excess loss*. Wilayah gabungan dilapisi dengan *epoxy* yang memiliki indeks bias rendah untuk melindunginya dari kedua kerusakan mekanis dan kontaminasi. Berkas optik di wilayah kopling dipandu oleh *TIR* (pemantulan dalam total) pada antarmuka antara gabungan POF dan *epoxy* yang melapisi. Sebagai hasilnya, jika wilayah kopling cukup panjang, kita dapat diharapkan pembauran berkas optik yang

lengkap dan membagi sama ke dalam saluran *output* tanpa kehilangan yang cukup besar. Berikut ini merupakan hasil dari fabrikasi dan karakterisasi yang telah dilakukan (Kwang Taek Kim, 2013).



Gambar 2.7 Hubungan *coupling ratio* dengan variasi panjang *coupling*

Gambar 2.7 menunjukkan hasil dari fabrikasi dan karakterisasi 4×4 coupler menggunakan metode *heating and pressing*. Pada Gambar 2.7 menunjukkan bahwa *input* diberikan pada *channel 1*, dimana pada waktu tidak ada panjang kopling daya masih terkumpul pada *channel 1*. Sedangkan daya mulai terbagi terlihat pada panjang kopling sekitar 2,5 mm. Hal yang menarik dalam semua kasus adalah bahwa nilai *coupling ratio* diri dari *channel 1* selalu lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *coupling ratio* silang. *Coupling ratio* diri merupakan nilai *coupling ratio* sebelum diberikan wilayah kupasan untuk penggabungan. Selanjutnya, *coupling ratio* pertama tidak mudah jenuh dibandingkan dengan *coupling ratio* silang. Pada kenyataannya, *coupling ratio* tergantung pada kondisi dimana sumber optik dimasukkan. Perbedaanannya terletak pada ketika sumber optik

mengalami penurunan, sehingga direktivitas dari sumber optik meningkat, panjang daerah gabungan sebaiknya harus ditingkatkan untuk mempertahankan nilai *coupling ratio* tetap sama (Kwang Taek Kim, 2013).

Parameter – parameter pokok dalam piranti *directional coupler* optik antara lain :

1. *Splitting ratio* atau *Coupling ratio* (CR), yaitu proporsi daya masukan pada masing-masing keluaran. Jika daya masukan diberikan pada port B1, nilai CR diperoleh dari saluran keluaran, yaitu Port A2, B2, C2, dan D2 dengan menggunakan persamaan (Crisp, 2001):

$$CR = \frac{P_{B2}}{(P_{C2} + P_{B2} + P_{A2} + P_{D2})} \quad (2.27)$$

2. *Insertion loss*, (L_{ins}) atau *Port-to-port loss*, yaitu rugi sisipan yang terjadi karena daya dari saluran masukan *coupler* serat optik terdistribusi di antara saluran keluaran. *Insertion loss* diukur sebagai perbandingan daya keluaran tunggal terhadap daya masukannya.

$$L_{ins} = 10 \log \left(\frac{P_{port\ keluaran}}{P_{port\ masukan}} \right) dB \quad (2.28)$$

Sebagai contoh, *Insertion loss* pada Port B2 adalah :

$$L_{ins} = 10 \log \left(\frac{P_{B2}}{P_{B1}} \right) dB \quad (2.29)$$

Selanjutnya rumus ini menunjukka *Insertion loss* pada Port B2 atau *port-to-port loss* antara Port B1 ke Port B2 (Crisp, 2001).

3. *Excess loss* (L_e) adalah rugi daya total. Jika 10 mW masuk ke dalam perangkat dan hanya 9 mW yang keluar, maka yang 1 mW dinyatakan sebagai rugi daya. Energi cahaya terhambur dan diserap di dalam *coupler* dan tidak didapatkan di saluran keluaran. Pada kasus *coupler* 4×4 , daya keluaran merupakan penjumlahan dari Port A2, B2, C2, dan D2 sedangkan daya masukan pada Port B1. Sehingga *Excess loss* dinyatakan sebagai:

$$L_e = 10 \log \left(\frac{\sum P_j}{P_i} \right) dB = 10 \log \left(\frac{P_{A2} + P_{B2} + P_{C2} + P_{D2}}{P_{B1}} \right) dB \quad (2.30)$$

Dengan P_j adalah daya keluaran dan P_i adalah daya masukan (Crisp, 2001).

4. Direktivitas (*directivity*) atau *Crosstalk*. Ketika daya masukan diberikan pada Port B1 maka daya keluaran akan terdeteksi pada Port A2, B2, C2, dan D2 bukan pada Port A1, C1 dan D1 yang merupakan Port masukan lainnya. Sayangnya, oleh karena hamburan balik di dalam *coupler*, beberapa energi dipantulkan balik dan terdeteksi di Port A1, Port C1 dan Port D1. Hamburan balik ini sangat sedikit dan disebut direktivitas (*Directivity*) atau *crosstalk*. Direktivitas dari *coupler* optik diukur antar port-port masukan *directional coupler* (Crisp, 2001).

$$D = C_t = 10 \log \frac{P_{A1}}{P_{B1}} dB = 10 \log \frac{P_{C1}}{P_{B1}} dB \quad (2.31)$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah antara lain :

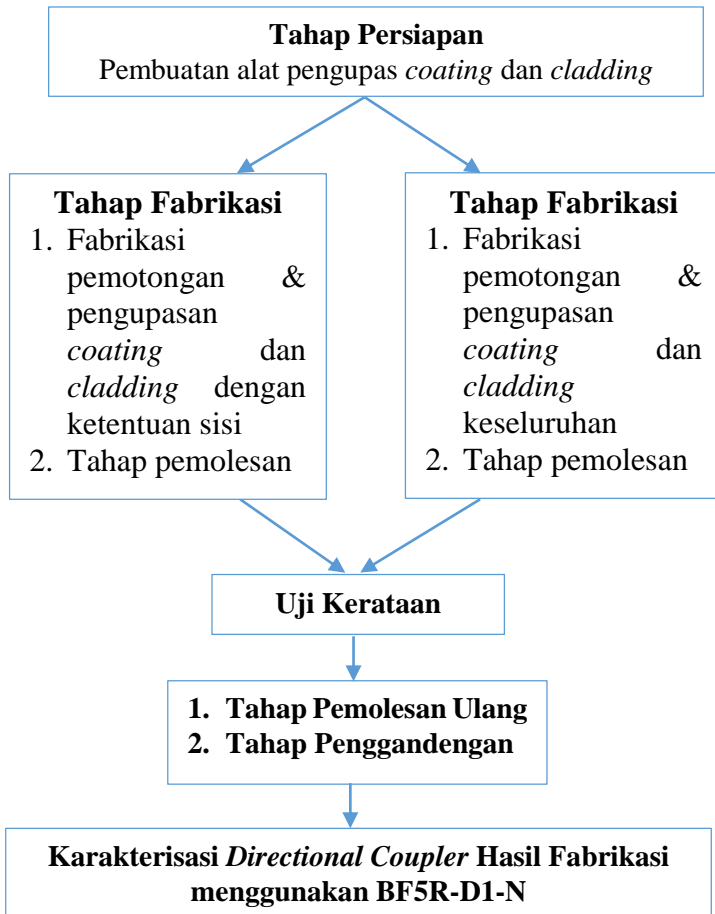
1. BF5R-D1-N
2. *DIN Rail*
3. Bor Akrilik
4. Mur dan Baut
5. Selotip atau lakban
6. Pemotong Fiber
7. Gunting dan *cutter*
8. Alat pemoles
9. Klip binder
10. *Power Supply* 30 V
11. Kabel jepit buaya
12. Penggaris

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian tugas ini antara lain :

1. Serat optik *step index multimode* tipe FD-620-10 (diameter fiber = 1 mm)
2. Kaca Akrilik
3. *Cable Tape*/plaster kabel
4. Alkohol 70%
5. Ampelas (mesh: 360, 400, 1000, 1200, 2000)
6. Benang jahit
7. Pipa kecil (*Casing spidol*)

3.2 Diagram Alir Penelitian

Terdapat beberapa tahapan dalam penelitian tugas akhir ini, dapat ditunjukkan dengan diagram alir penelitian pada Gambar 3.1. sebagai berikut :



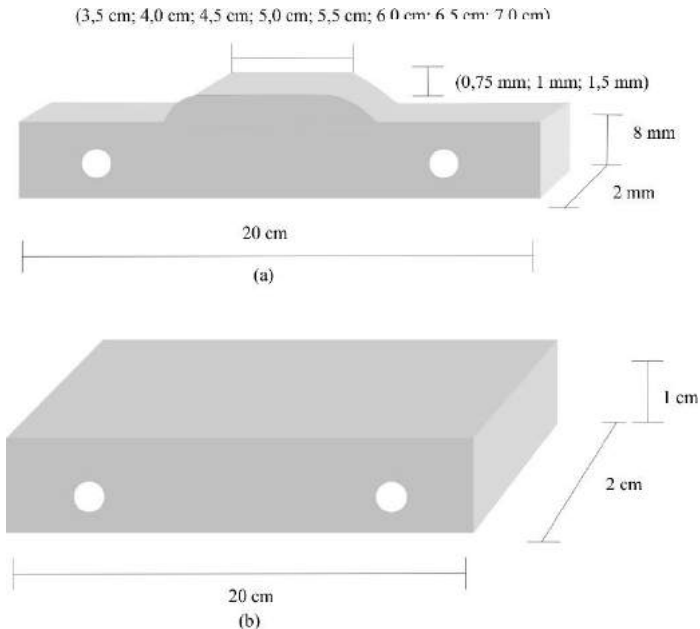
Gambar 3.1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.2.1 Tahap Persiapan

3.2.1.1. Pembuatan alat pengupas *coating* dan *cladding*

Pengupasan *coating* dan *cladding* merupakan tahapan yang cukup sulit, karena dibutuhkan ketepatan dalam proses pengupasan. Alat pengupas yang terbuat dari akrilik ini digunakan

untuk memudahkan mengupas *coating* dan *cladding* pada serat optik dengan variasi panjang kupasan yaitu 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm dan 55 mm. Bagian utama alat ini adalah akrilik dengan ketebalan 2 mm. Desain rancangan alat pengupas *coating* dan *cladding* diperlihatkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2. Desain rancangan alat pengupas *coating* dan *cladding*

Untuk menghasilkan *directional coupler* konfigurasi 4×4 planar dengan satu panjang kupasan, bagian (a) pada Gambar 3.2 dibuat 3 buah dengan ketinggian gundukan masing-masing 0,75 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. Sehingga untuk 8 variasi panjang kupasan, bagian (a) pada Gambar 3.2 dibuat sebanyak 32 buah. Bagian (b) pada Gambar 3.2 adalah bagian utama alat pengupas *coating* dan *cladding*, dibuat sebanyak 2 buah. Bagian (a) dirangkai di tengah

antara dua buah bagian (b) dan digabung dengan menggunakan mur dan baut melalui lubang yang dibuat. Untuk lebih jelasnya, alat pengupas *coating* dan *cladding* yang telah dibuat diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Alat pengupas *coating* dan *cladding*

Gambar 3.3 menunjukkan alat pengupas *coating* dan *cladding* yang telah dibuat berdasarkan pada desain yang sudah ada. Alap pengupas ini terbuat dari kaca akrilik dan dipotong dengan laser. Panjang dari alat ini yaitu 20 cm untuk menyesuaikan serat optik yang akan digunakan sebagai *directional coupler*.

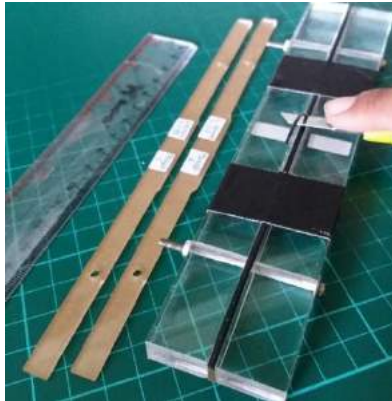
3.2.2 Tahap Fabrikasi *Directional Coupler*

Prosedur fabrikasi *directional coupler* mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

1. Tahap Pemotongan & Pengupasan *Coating* dan *Cladding*

Serat optik dipotong menggunakan alat pemotong fiber dengan panjang 20 cm sebanyak 4 buah. Untuk memudahkan identifikasi, keempat serat optik tersebut diberi label A, B, C, dan D. Serat optik B dan serat optik C diletakkan di tengah dan diapit oleh serat optik A dan serat optik D. Pengupasan serat optik B dan serat optik C dikupas sama, sedangkan serat optik A dikupas sama dengan serat optik D.

Dengan bantuan alat pengupas yang telah dibuat, serat optik yang akan dikupas ditempatkan di tengah-tengah bagian alat tersebut dan ditempelkan selotip atau lakban pada kedua ujung agar tidak geser. Selanjutnya serat optik dikupas dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm, 65 mm, dan 70 mm menggunakan *cutter* yang tajam.



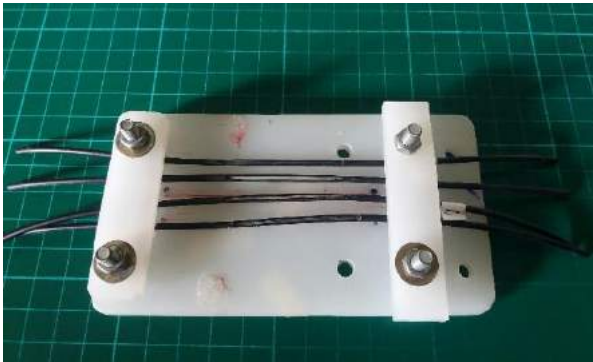
Gambar 3.4 Proses pengupasan *coating* dan *cladding*

Gambar 3.4 menunjukkan proses pengupasan *coating* dan *cladding*. Secara umum, pengupasan dilakukan dengan mengupas bagian jaket dan *cladding* sehingga menyisakan bagian *core*. Sehingga, pada waktu dilakukan penggandengan bagian yang dikupas bias saling berinteraksi satu sama lain. Pada tahapan pengupasan serat optik ini dilakukan menjadi dua metode untuk membandingkan hasil yang akan diperoleh. Metode tersebut antara lain:

1.1 Metode A (Susunan Planar)

Serat optik B dan serat optik C yang akan dijadikan bagian tengah *directional coupler* konfigurasi 4×4 planar, mendapatkan perlakuan berbeda dari serat optik A dan serat optik D untuk bagian samping. Serat optik B dan serat optik C dikupas di kedua sisinya dengan perbandingan tebal kupasan yang sama. Bagian sisi kiri dan kanannya dikupas sebesar 0,75 mm, sehingga tersesisa serat

optik di bagian tengah dengan ketebalan 0,5 mm. Proses pengupasan serat optik B dan C ini dilakukan dalam dua tahap pengupasan, tahap pertama yaitu serat optik B dikupas sisi kirinya dengan menggunakan alat pengupas dengan tinggi gundukan 0,75 mm; tahap kedua yaitu sisi kiri serat optik B yang telah dikupas dihadapkan ke bawah alat pengupas sehingga yang terkelupas pada tahap kedua ini adalah sisi kanan serat optik B, alat pengupas yang digunakan pada tahap kedua ini menggunakan tinggi gundukan 1,5 mm. Perlakuan proses pengupasan pada serat optik C sama dengan proses pengupasan serat optik B. Sedangkan untuk kedua serat optik A dan serat optik B yang akan dijadikan sisi kiri dan kanan *directional coupler* konfigurasi 4×4 planar, dikupas salah satu sisinya dengan menggunakan tinggi gundukan 1 mm. Untuk memastikan ketebalan hasil kupasan sesuai dengan yang diinginkan, digunakan jangka sorong untuk mengukur ketebalannya.

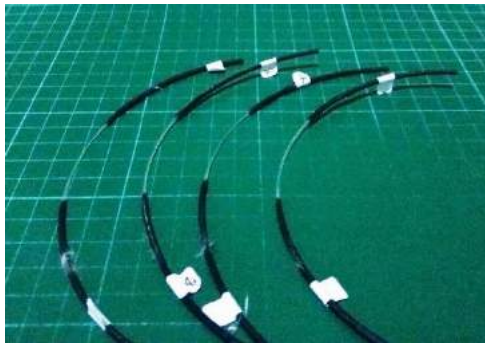


Gambar 3.5 Hasil kupasan serat optik metode A

Hasil pengupasan untuk metode A yaitu *directional coupler* susunan planar sesuai dengan ketentuan yang telah disebutkan dapat dilihat pada Gambar 3.5 dimana terlihat bahwa untuk serat optik bagian kiri dan kanan dikupas salah satu sisinya sedangkan untuk serat optik bagian tengah dikupas pada kedua sisinya.

1.2 Metode B (Susunan Persegi)

Penggunaan metode B berbeda dengan metode A, jika pada metode A serat optik B dan C dikupas dengan ukuran yang berbeda karena keduanya akan berada di tengah *directional coupler*. Sedangkan untuk serat optik A dan C akan berada di sampingnya. Tahapan pengupasan pada metode A dilakukan dengan mengupas sisi-sisi tertentu dari serat optik dan masih menyisakan *cladding* dan *coating* di sisi yang tidak dikupas. Pada tahapan pengupasan dengan menggunakan metode B akan mengikuti metode yang digunakan dalam tahap penggandengan. Dengan menggunakan metode B ini serat optik akan dikupas seluruhnya atau semua sisi sampai menyisakan hanya *core* saja dengan panjang kupasan sesuai variasi panjang *coupling*. Daerah panjang *coupling* yang dikupas awalnya dikupas sampai pada daerah *cladding*. Setelah itu tahapan pengupasan untuk menyisakan hanya *core* saja akan dilakukan dengan tahapan pemolesan dengan tujuan untuk meminimalkan kerusakan struktur pada daerah *core*.



Gambar 3.6 Hasil kupasan serat optik metode B

Hasil pengupasan untuk metode B yaitu *directional coupler* susunan planar sesuai dengan ketentuan yang telah disebutkan dapat dilihat pada Gambar 3.6 dimana terlihat bahwa keempat serat optik dikupas keseluruhan pada bagian variasi panjang kupasan.

2. Tahap Pemolesan

Pada tahap ini, serat optik diletakkan pada alat pemoles dengan bagian yang terkupas menghadap ke atas. Seperti pada tahap sebelumnya, serat optik harus pada keadaan lurus dan sejajar. Kemudian dengan menggunakan ampelas serat optik digosok searah. Ampelas yang digunakan yaitu dengan mesh 360, 400, 1000, 1200, dan 2000. Hal ini dilakukan agar seluruh serat optik yang dipoles mempunyai permukaan yang rata dan ketebalan yang sama. Kemudian ujung-ujung serat optik diratakan menggunakan ampelas dengan cara digosok membentuk angka delapan. Hal ini dilakukan agar seluruh permukaan rata. Selanjutnya setiap bagian yang dipoles, dibersihkan menggunakan alkohol 70% dan dikeringkan.



Gambar 3.7 Proses Pemolesan

Gambar 3.7 menunjukkan proses pemolesan yang dilakukan pada bagian serat optik yang dikupas. Variasi besar *mesh* digunakan pada proses ini, untuk memoles satu serat optik digunakan 5 variasi *mesh* sehingga didapatkan hasil kupasan yang halus dan rata. Hal demikian juga dilakukan pada ujung-ujung serat optik tersebut. Hasil dari kupasan dan pemolesan tidak dilihat begitu saja dengan mata biasa karena perlu dilakukan pengamatan khusus dengan menggunakan perbesaran sehingga didapatkan hasil yang lebih jelas mengenai permukaan hasil kupasan dan pemolesan yang telah dilakukan.

3.2.3 Tahap Uji Kerataan

Pada tahap ini, serat optik yang telah dikupas dan dipoles dengan menggunakan ampelas diuji kerataannya untuk mengetahui hasil dari pemolesan yang telah dilakukan. Uji kerataan dilakukan dengan cara melihat bagian kupasan serat optik pada setiap port dan semua variasi panjang kupasan. Pengujian dilakukan dengan keterangan sebagai berikut :

Hari dan Tanggal : Kamis, 7 April 2016

Tempat : Laboratorium Metal

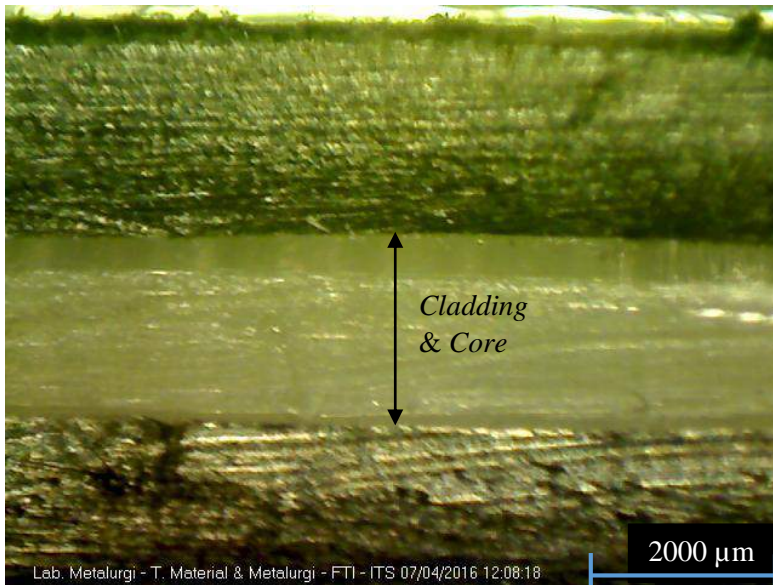
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS

Alat : *Stereo Microscope* #3 - *Carl Zeiss Stemi DV4*



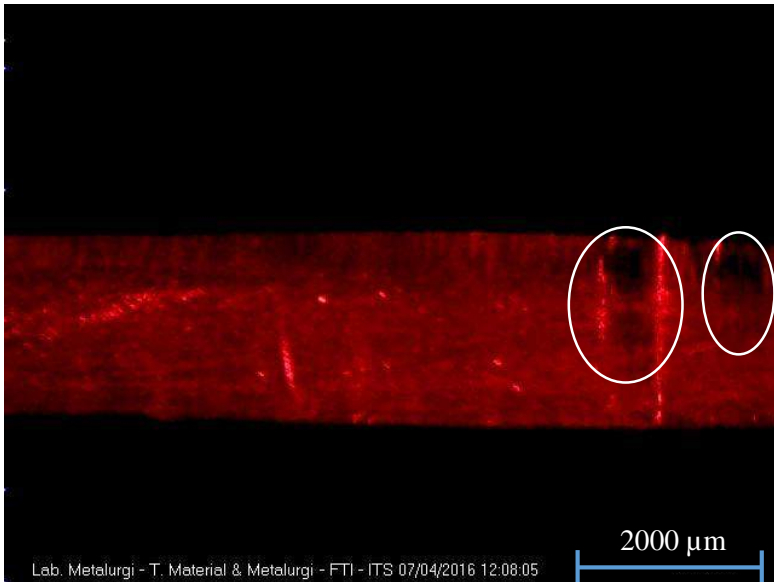
Gambar 3.8 Proses Uji Kerataan

Gambar 3.8 menunjukkan proses uji kerataan dimana serat optik diamati dengan menggunakan *Stereo Microscope* yang telah disambungkan dengan computer untuk menampilkan hasil dari bagian kupasan serat optik. Hasil gambar dari pengamatan dapat menunjukkan keraataan dari kupasan. Berikut ini adalah contoh dari hasil pengamatan oleh *Stereo Microscope* :



Gambar 3.9 Panjang kupasan 35 mm Port C

Gambar 3.9 memperlihatkan bahwa hasil dari pengamatan oleh *Stereo Microscope* tidak diberikan sinar pada serat optik belum begitu diketahui kerataan dari kupasan yang telah dilakukan. Gambar diambil pada bagian penampang serat optik yang dikupas, terlihat bahwa terdapat struktur serat optik yang berbeda. Struktur serat optik yang dapat dilihat yaitu bagian *coating* yang berwarna hitam dan bagian *cladding* dan *core* yang bening. Pengambilan gambar dilakukan dengan menggunakan perbesaran sampai yang paling besar yaitu 2000 μm . Perbesaran diberikan untuk memperjelaskan bagian-bagian dari serat optik yang diamati, dan juga dapat berfungsi menentukan besar diameter fiber. Pada Gambar terlihat bahwa perbesaran 2000 μm telah menunjukkan secara keseluruhan bagian dari serat optik, sehingga didapatkan hipotesa yaitu besar diameter dari fiber optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 sebesar 2000 μm menurut pengamatan.

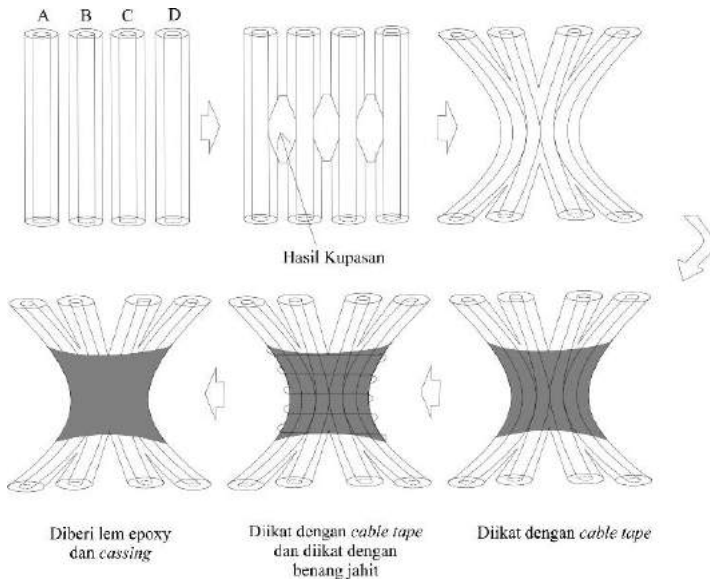


Gambar 3.10 Panjang kupasan 35 mm Port C
dengan dimasukkan sinar laser

Oleh karena itu dilakukan penyinaran pada serat optik dengan menggunakan sinar laser untuk dapat mengetahui pada bagian mana yang belum terkupas secara sempurna. Pada Gambar 3.10 yang ditunjukkan oleh lingkaran putih merupakan bagian serat optik yang belum terkupas seluruhnya karena pada bagian itu masih gelap menandakan bahwa sinar laser belum terhambur keluar. Oleh sebab itu, pada bagian tersebut dilakukan pemolesan lagi dengan menggunakan ampelas dimulai dengan *mesh* yang lebih halus daripada tahap pemolesan pertama. Setelah dilakukan pemolesan tahap kedua pada kupasan serat optik tersebut jika dinilai sudah cukup sempurna maka, serat optik dibersihkan dengan menggunakan alkohol dan siap untuk dilakukan tahap penggandengan.

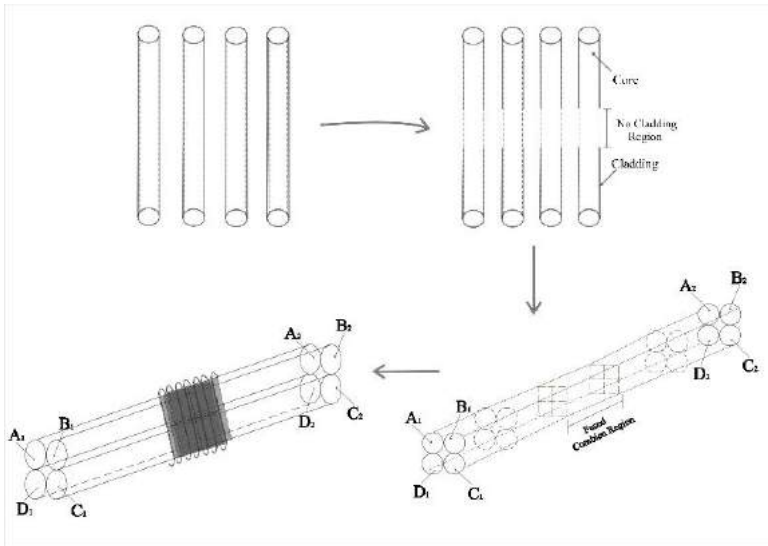
3.2.4 Tahap Penggandengan

Tahap ini merupakan tahapan terakhir pembuatan *directional coupler*. Pada tahapan ini juga digunakan dua metode penggandengan dengan perbedaan posisi susunan dari keempat serat optik namun, dilakukan dengan cara penggandengan yang sama. Penggandengan pertama dilakukan dengan menggandeng empat serat optik pada posisi susunan planar dan tahapan penggandengan kedua dilakukan dengan cara menggandeng keempat serat optik pada posisi susunan persegi. Penggandengan dilakukan dengan cara menggandeng keempat serat optik pada bagian yang telah dipoles dengan menggunakan dua tahap pengikatan. Untuk memudahkan proses penggandengan digunakan klip binder untuk menjepit ketiga serat optik tersebut agar tidak geser. Kemudian tahap pertama *cable tape* atau solatip kabel direkatkan pada bagian kopling sesuai panjang kupasan, tahapan ini dilakukan karena dalam proses penggandengan empat serat optik ini cukup susah karena serat optik sering geser sehingga pada tahapan pertama ini digunakan *cable tape* untuk tahap penggandengan pertama. Tahap kedua kopling yang telah direkatkan dengan *cable tape*, dililitkan benang jahit sesuai panjang kupasan agar celah yang dihasilkan oleh *cable tape* berkurang. Pada tahap ini harus dilakukan dengan perlahan dan diusahakan keempat bagian serat optik yang telah dipoles benar-benar *matching* agar dihasilkan penggandengan yang baik. Agar tidak mengalami pergeseran dalam penggunaannya, *directional coupler* yang dihasilkan diberi pelindung (*casing*) yang permanen. Pada penelitian ini *directional coupler* dimasukkan ke dalam pipa kecil (selongsong bekas spidol) dengan direkatkan oleh lem epoxy. Tahap penggandengan dan proses penggandengan dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.

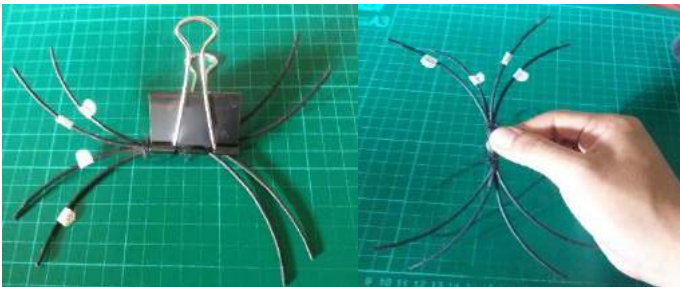


Gambar 3.11 Tahap penggandengan *directional coupler* susunan planar

Pada Gambar 3.11 merupakan tahapan penggandengan *directional coupler* susunan planar yaitu dengan menyusun empat serat optik secara sejajar. Serat optik pada susunan planar ini dikupas dengan ketentuan yang telah dijelaskan pada tahapan pengupasan. Namun, perlu diperhatikan bahwa tahapan penggandengan ini dapat mempengaruhi hasil dari pembagian daya yang terjadi. Oleh karena itu, sebelum dilakukan tahapan penggandengan harus diperhatikan kerataan dari kupasan yang telah dilakukan. Setelah hasil kupasan diuji dan hasilnya baik maka dilanjutkan ke tahap ini. Tahapan penggandengan ini dilakukan dengan mengikat benang secara erat agar serat optik tidak mudah geser, dan juga agar seluruh serat optik pada *directional coupler* benar-benar *match*.



Gambar 3.12 Tahap pengandengan *directional coupler* susunan persegi

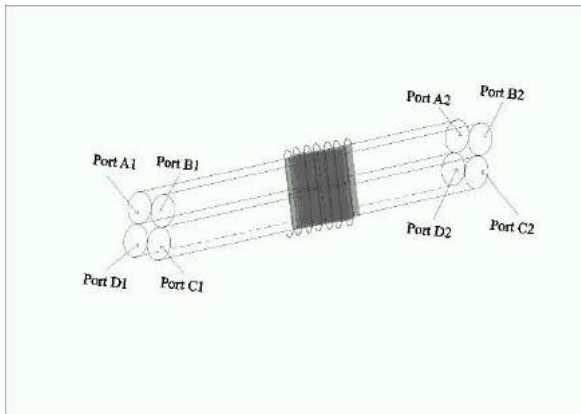


Gambar 3.13 Proses tahap pengandengan *directional coupler*

Desain hasil fabrikasi *directional coupler* 4×4 diperlihatkan pada gambar 3.14.



(1)



(2)

Gambar 3.14 Desain hasil fabrikasi *directional coupler*

Pada Gambar 3.12 merupakan tahapan penggandengan *directional coupler* susunan persegi yaitu dengan disusun dua diatas dan dua dibawah sehingga keempatnya dapat *match*. Penggandengan dilakukan dengan cara menjepit terlebih dahulu keempat serat optik agar tidak goyang kemudian dilanjutkan dengan mengikat keempatnya mulai dari kedua ujungnya terlihat pada Gambar 3.13. Setelah itu dilanjutkan tahapan penggandengan lainnya sesuai dengan alur yang sudah diperlihatkan pada gambar 3.11 susunan planar dan Gambar 3.12 susunan persegi. Setelah dilakukan penggandengan didapatkan hasil seperti pada Gambar 3.13 yang menunjukkan bahwa susunan planar digandkan sejajar satu sama lain, berbeda dengan susunan persegi.

3.2.5 Karakterisasi *directional coupler* hasil fabrikasi menggunakan BF5R-D1-N

Karakterisasi *directional coupler* hasil fabrikasi menggunakan BF5R-D1-N. Karakterisasi ini bertujuan untuk memperoleh nilai *coupling ratio* (CR), *crosstalk* (Ct) *directivity* (D), *excess loss* (Le), dan *insertion loss* (Lins). BF5R-D1-N diperlihatkan pada Gambar 3.10. Sensor ini merupakan sensor khusus untuk menganalisis daya keluaran yang diterima dari fiber optik. Pada karakterisasi ini digunakan dua buah BF5R-D1-N, yang pertama sebagai sumber cahaya dan yang kedua sebagai fotodetektor.

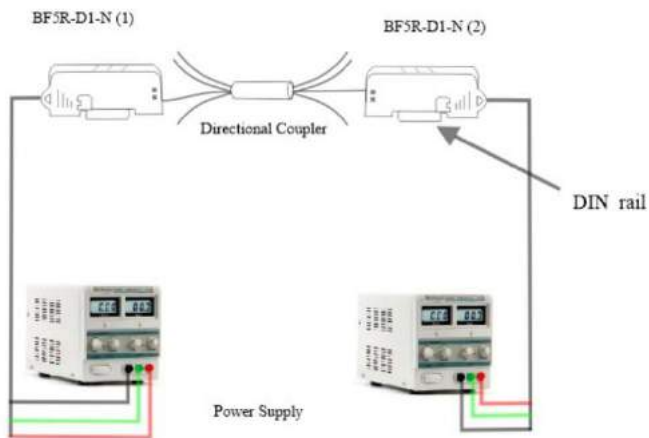
Spesifikasi NF5R-D1-N diperlihatkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 spesifikasi BF5R-D1-N

Type	BF5R-D1-N
Source	LED Merah (660 nm)
Power Supply	12-24 Volt DC \pm 10%
Arus maksimum	50 mA
Waktu respon	500 μ s (Standart)
Output	P_{in} (level light) 0-4000

Set up alat untuk karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N ditunjukkan pada Gambar 3.15. Kedua BF5R-D1-N diletakkan di atas DIN *rail* agar bisa berdiri tegak dan sejajar antar keduanya. Sumber tegangan DC dari *power supply* yang digunakan pada kedua BF5R-D1-N adalah sebesar 16 Volt, nilai ini berada di rentang tegangan kerja BF5R-D1-N yaitu 12-24 Volt DC. Untuk mengetahui karakteristik dari *directional coupler* yang telah difabrikasi, dilakukan pengukuran menggunakan BF5R-D1-N

pada masing – masing port keluaran sebanyak 25 kali pengulangan. Setiap 7 kali pengambilan data, BF5R-D1-N dimatikan dan dihidupkan kembali setelah ± 5 menit, hal ini dilakukan agar data yang diperoleh lebih akurat karena BF5R-D1-N sensitif terhadap panas, jika digunakan dalam jangka waktu yang lama akan panas dan data yang ditampilkan tidak stabil dan intensitas cahaya yang terdeteksi cenderung menurun. Untuk setiap panjang kupasan, BF5R-D1-N yang digunakan sebagai sumber cahaya dipasang di Port masukan B1, C1, A1 dan D1 secara bergantian, sementara BF5R-D1-N yang digunakan sebagai detektor dipasang di Port lainnya untuk mendeteksi cahaya yang diteruskan dan cahaya yang balik.



Gambar 3.15 Set up alat pada proses karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N pada *directional coupler*



Gambar 3.16 Proses karakterisasi *directional coupler* menggunakan BF5R-D1-N

Gambar 3.16 menunjukkan proses karakterisasi yang telah dilakukan dalam penelitian ini. *Directional coupler* sebanyak sepuluh buah telah dikarakterisasi menggunakan BF5R-D1-N. Pada proses karakterisasi ini perlakuan pada *directional coupler* susunan planar maupun susunan persegi sama yaitu dengan dilakukan pengulangan sebanyak 25 kali. Pada proses karakterisasi ini akan didapatkan data berupa besar intensitas sinar yang masuk pada serat optik dan besar intensitas sinar pada masing-masing *port* keluaran.

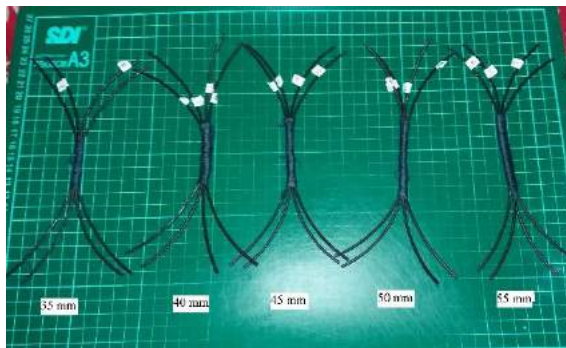
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi *Directional Coupler*

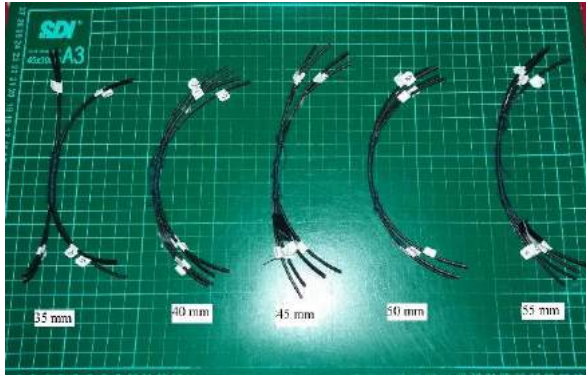
Fabrikasi *directional coupler* serat optik dengan konfigurasi 4×4 menggunakan metode *Fused Biconical Tapered* (FBT) dilakukan dengan cara mengupas empat buah serat optik dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm menggunakan alat pengupas *coating* dan *cladding* yang telah dibuat seperti pada Gambar 3.3. Empat buah serat optik yang telah dikupas kemudian digabungkan (*fused*). Penggabungan serat optik tersebut dilakukan pada daerah yang telah dikupas. Skema proses fabrikasi seperti pada Gambar 3.8.

Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 dilakukan dengan menggunakan dua macam susunan penggandengan antara lain susunan planar yang artinya disusun secara sejajar dan susunan persegi (*square*) dengan menyusun dua serat optik diatas dan dua serat optik di bawahnya. Desain hasil fabrikasi selengkapnya dapat ditunjukkan pada Gambar 3.10.

Pada penelitian ini, telah difabrikasi sepuluh buah *directional coupler* dengan rincian lima buah untuk susunan planar dan lima buah untuk susunan persegi masing-masing dengan variasi panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm. Hasil fabrikasi diperlihatkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 *Directional Coupler* dengan susunan planar



Gambar 4.2 *Directional Coupler* dengan susunan persegi

4.2 Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* Susunan Planar dan Susunan Persegi Menggunakan BF5R-D1-N

Pada proses karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N ini, digunakan BF5R-D1-N (1) sebagai *input* dan BF5R-D1-N (2) sebagai *output*. Sinyal input dari BF5R-D1-N diberikan pada port A1, B1, C1, dan D1 secara bergantian, sementara sinyal *output* pada port A2, B2, C2, dan D2 dikarakterisasi oleh BF5R-D1-N (2). Selama proses karakterisasi *display* sensor BF5R-D1-N (2) menampilkan nilai intensitas cahaya yang diterima pada *output* tiap port, data nilai intensitas cahaya tersebut disajikan pada lampiran A dengan pengambilan data sebanyak 25 kali. Sedangkan nilai rata-ratanya disajikan sebagai berikut :

4.2.1 Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* Susunan Planar

Directional Coupler susunan planar, dengan serat optik yang disusun secara sejajar. Dengan artian serat optik dikupas pada beberapa sisinya dengan ketentuan yang ada. Hasil serat optik yang telah dikupas ditunjukkan pada Gambar 3.5. Setelah dilakukan penggandengan, lalu *directional coupler* dikarakterisasi dengan menggunakan BF5R-D1-N. Pengambilan data dilakukan sebanyak 25 kali. Data hasil karakterisasi *directional coupler* susunan planar disajikan sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* susunan planar dengan Daya *Input* pada Port A1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	D1
35	419,2	220,1	210	16	0	0	0
40	408,7	198,5	148,4	8	0	0	24
45	517,8	184,1	303,6	20	26,4	0	0
50	1006,2	219,2	127,2	3	0	0	0
55	571,2	180,6	122,8	17	0	0	0

Tabel 4.2 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* susunan planar dengan Daya *Input* pada Port B1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	C1	D1
35	387	1262,9	447,3	134,7	65,4	0	0
40	241,6	1404,3	426,8	39	96,9	0	0
45	348,4	739,5	200,1	304,8	12,9	0	0
50	185,2	396,8	307,2	11	0	0	0
55	218,0	990,9	403,7	142,3	17,8	0	0

Tabel 4.3 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* susunan planar dengan Daya *Input* pada Port C1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	A1	D1
35	82,4	367,3	1465,6	174,4	0	0	0
40	33	397,2	1089,6	179	0	0	0
45	327	183,6	754,8	344,3	0	0	83,4
50	21	345,7	612,6	199,8	0	0	103,4
55	109,4	333,0	358,1	389,5	0	0	0

Tabel 4.4 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* susunan planar dengan Daya *Input* pada Port D1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	A1
35	20	197,1	260,7	572,1	0	0	0
40	8	261,5	283,6	614,7	0	0	0
45	12	123,2	364,9	388	0	7	0
50	10	186,4	172,2	844,9	0	4	0
55	25,8	155,6	211	836,7	0	1	0

Nilai prosentase *output* pada *directional coupler* pada masing-masing variasi panjang kupasan ditunjukkan pada Tabel 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8 sebagai berikut :

Tabel 4.5 Prosentase *Output Directional Coupler* konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal *Input* pada Port A1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)			Loss (%)
	A2 (%)	B2 (%)	C2 (%)	D2 (%)	B1 (%)	C1 (%)	D1 (%)	
35	12,7	6,70	6,39	0,49	0	0	0	73,7
40	12,4	6,04	4,52	0,24	0	0	0,7	76,0
45	15,8	5,60	9,24	0,61	0,8	0	0	67,9
50	30,6	6,67	3,87	0,09	0	0	0	58,7
55	17,4	5,49	3,74	0,52	0	0	0	72,9

Tabel 4.6 Prosentase *Output Directional Coupler* konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal *Input* pada Port B1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)			Loss (%)
	A2 (%)	B2 (%)	C2 (%)	D2 (%)	A1 (%)	C1 (%)	D1 (%)	
35	11,8	38,4	13,6	4,10	1,99	0	0	30,1
40	7,35	42,7	12,9	1,19	2,95	0	0	32,8

45	10,6	22,5	6,09	9,28	0,39	0	0	51,1
50	5,64	12,1	9,35	0,33	0	0	0	72,6
55	6,64	30,2	12,3	4,33	0,54	0	0	46,0

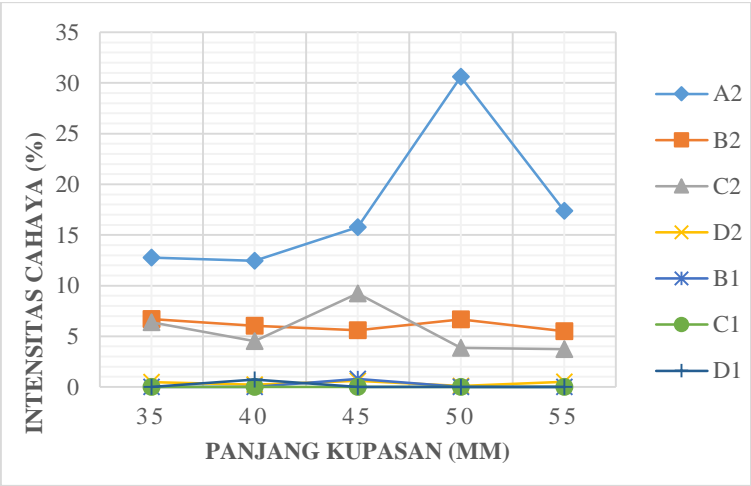
Tabel 4.7 Prosentase *Output Directional Coupler* konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal *Input* pada Port C1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)			Loss (%)
	A2 (%)	B2 (%)	C2 (%)	D2 (%)	B1 (%)	A1 (%)	D1 (%)	
35	2,51	11,2	44,6	5,31	0	0	0	36,4
40	1,00	12,1	33,2	5,45	0	0	0	48,3
45	9,95	5,59	22,9	10,5	0	0	2,54	48,5
50	0,64	10,5	18,6	6,08	0	0	3,15	60,9
55	3,33	10,1	10,9	11,8	0	0	0	63,8

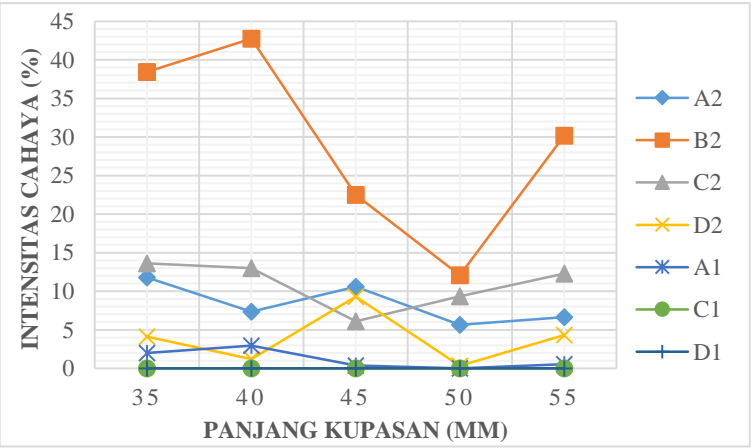
Tabel 4.8 Prosentase *Output Directional Coupler* konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal *Input* pada Port D1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)			Loss (%)
	A2 (%)	B2 (%)	C2 (%)	D2 (%)	B1 (%)	C1 (%)	A1 (%)	
35	0,61	5,99	7,93	17,4	0	0	0	68,0
40	0,24	7,96	8,63	18,7	0	0	0	64,4
45	0,36	3,75	11,1	11,8	0	0,21	0	72,7
50	0,30	5,67	5,24	25,7	0	0,12	0	62,9
55	0,78	4,73	6,42	25,4	0	0,03	0	62,6

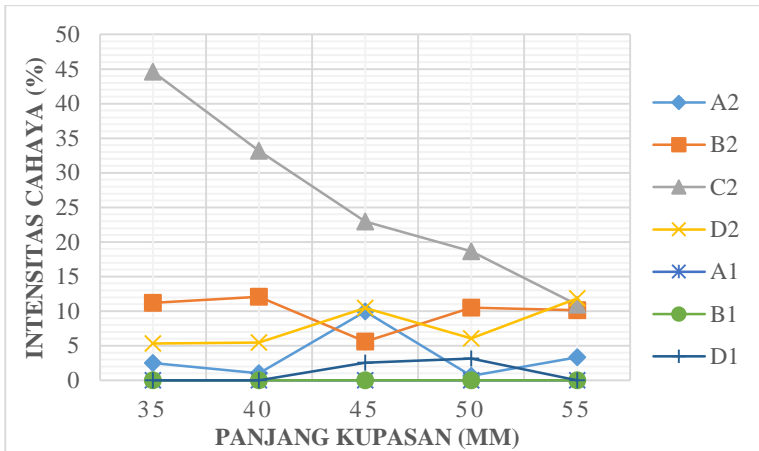
Berdasarkan data pada Tabel 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8 diatas, data dapat disajikan dalam bentuk grafik hubungan intensitas cahaya pada *output* di setiap Port *input* dengan variasi panjang kupasan yang dapat dilihat pada Gambar 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 sebagai berikut :



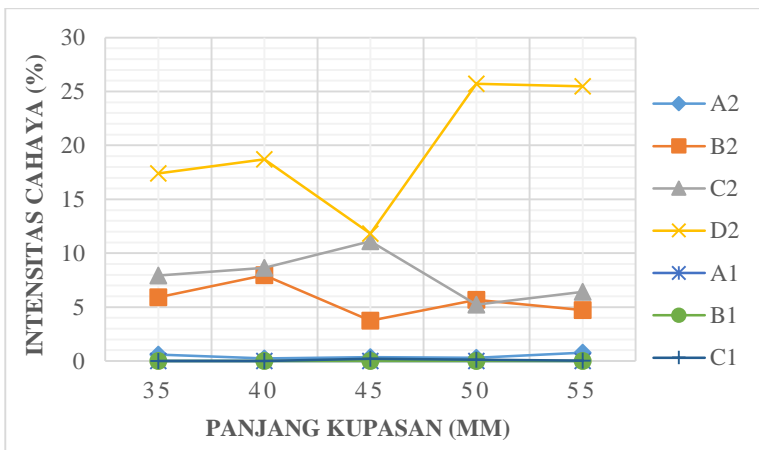
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port A1 sebagai Sinyal *Input*



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port B1 sebagai Sinyal *Input*



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port C1 sebagai Sinyal *Input*



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port D1 sebagai Sinyal *Input*

Berdasarkan persamaan (2.22), (2.24), (2.25), dan (2.26) dapat diketahui nilai parameter *directional coupler*. Dengan demikian dilakukan perhitungan yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, dan 4.13 berikut ini :

Tabel 4.9 Karakteristik *Directional Coupler* Susunan Planar dengan Panjang Kupasan 35 mm

Input	CR	Le (dB)
A1	0,48	-5,79
	0,25	
	0,24	
	0,02	
B1	0,17	-1,68
	0,56	
	0,20	
	0,06	
C1	0,04	-1,96
	0,17	
	0,70	
	0,08	
D1	0,02	-4,95
	0,19	
	0,25	
	0,54	

Tabel 4.10 Karakteristik *Directional Coupler* Susunan Planar dengan Panjang Kupasan 40 mm

Input	CR	Le (dB)
A1	0,53	-6,34

	0,26	
	0,19	
	0,01	
B1	0,11	-1,92
	0,66	
	0,20	
	0,02	
C1	0,02	-2,86
	0,23	
	0,64	
	0,10	
D1	0,01	-4,49
	0,22	
	0,24	
	0,53	

Tabel 4.11 Karakteristik *Directional Coupler* Susunan Planar dengan Panjang Kupasan 45 mm

Input	CR	Le (dB)
A1	0,50	-5,06
	0,18	
	0,30	
	0,02	
B1	0,23	-3,05
	0,45	
	0,12	
	0,19	
C1	0,20	-3,09

	0,11	
	0,47	
	0,21	
D1	0,01	-5,68
	0,14	
	0,41	
	0,44	

Tabel 4.12 Karakteristik *Directional Coupler* Susunan Planar dengan Panjang Kupasan 50 mm

Input	CR	Le (dB)
A1	0,74	-3,84
	0,16	
	0,09	
	0,002	
B1	0,20	-5,62
	0,44	
	0,34	
	0,01	
C1	0,02	-4,45
	0,29	
	0,52	
	0,17	
D1	0,01	-4,32
	0,15	
	0,14	
	0,70	

Tabel 4.13 Karakteristik *Directional Coupler* Susunan Planar dengan Panjang Kupasan 55 mm

INPUT	CR	Le (dB)
A1	0,64	-5,66
	0,20	
	0,14	
	0,02	
B1	0,12	-2,72
	0,56	
	0,23	
	0,08	
C1	0,09	-4,41
	0,28	
	0,30	
	0,33	
D1	0,02	-4,27
	0,13	
	0,17	
	0,68	

4.2.2 Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* Susunan Persegi

Directional Coupler susunan persegi, serat optik disusun dua di atas dan dua di bawah. Serat optik dikupas seluruhnya sampai tersisa *core* saja sesuai variasi panjang *coupling*. Pengambilan data dilakukan sebanyak 25 kali. Data hasil karakterisasi *directional coupler* susunan persegi disajikan sebagai berikut :

Tabel 4.14 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* susunan persegi dengan Daya *Input* pada Port A1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	D1
35	404,8	384,8	264,4	358,6	0	7	4
40	434,6	412,8	145,7	400,1	20	0	23
45	437,6	400,9	271,1	427,4	31	21	0
50	395,4	354,9	126,2	350,5	0	36	0
55	465,5	443,6	318,1	439,0	13	0	0

Tabel 4.15 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* susunan persegi dengan Daya *Input* pada Port B1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	C1	D1
35	359,3	419,9	405,8	321,4	0	0	0
40	395,6	442,3	395	117,6	0	0	0
45	370,6	447,5	426,1	158,6	0	0	0
50	336,7	425,8	339,1	132,7	0	26,9	0
55	448,8	478,9	456,4	280,3	0	6	0

Tabel 4.16 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* susunan persegi dengan Daya *Input* pada Port C1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	A1	D1
35	262,3	371	449,8	412,2	0	0	0
40	128,3	396,6	417,6	329,4	0	0	0
45	134,9	384,8	440	336,7	11	0	0
50	123,2	339,1	405,4	357,2	7	27	0
55	267,6	421,2	447,6	429,1	0	0	0

Tabel 4.17 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* susunan persegi dengan Daya *Input* pada Port D1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	A1
35	384,2	352,6	390,1	417,2	4	0	0
40	340,2	148	291,1	418,9	0	0	0
45	419,6	246,9	415,3	440,9	12	0	0
50	304,4	126,4	340,0	399,9	0	0	7
55	428,0	309,4	426,2	448,8	0	0	0

Nilai prosentase *output* pada *directional coupler* pada masing-masing variasi panjang kupasan ditunjukkan pada Tabel 4.18, 4.19, 4.20 dan 4.21 sebagai berikut :

Tabel 4.18 Prosentase *Output Directional Coupler* konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal *Input* pada Port A1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)			Loss (%)
	A2 (%)	B2 (%)	C2 (%)	D2 (%)	B1 (%)	C1 (%)	D1 (%)	
35	12,3	11,7	8,05	10,9	0	0,21	0,12	56,7
40	13,2	12,6	4,43	12,2	0,61	0	0,70	56,2
45	13,3	12,2	8,25	13,0	0,94	0,64	0	51,6
50	12,0	10,8	3,84	10,7	0	1,09	0	61,5
55	14,2	13,5	9,68	13,4	0,39	0	0	48,9

Tabel 4.19 Prosentase *Output Directional Coupler* konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal *Input* pada Port B1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)			Loss (%)
	A2 (%)	B2 (%)	C2 (%)	D2 (%)	A1 (%)	C1 (%)	D1 (%)	
35	10,9	12,8	12,3	9,78	0	0	0	54,1
40	12,0	13,5	12,0	3,58	0	0	0	58,9

45	11,3	13,6	12,9	4,82	0	0	0	57,3
50	10,2	12,9	10,3	4,04	0	0,82	0	61,6
55	13,6	14,6	13,9	8,53	0	0,18	0	49,1

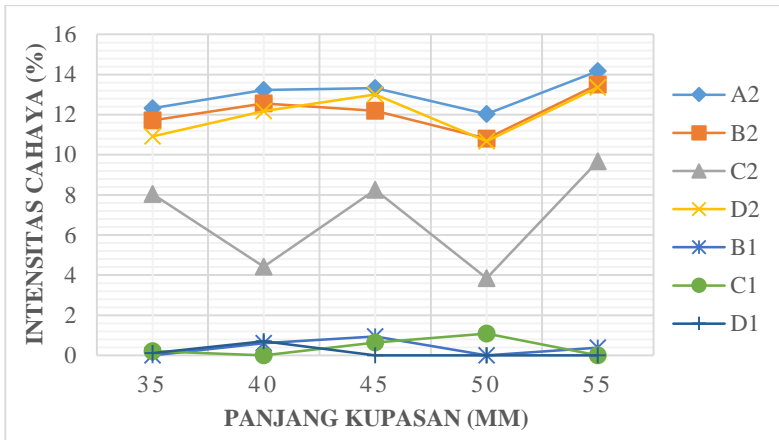
Tabel 4.20 Prosentase *Output Directional Coupler* konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal *Input* pada Port C1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)			Loss (%)
	A2 (%)	B2 (%)	C2 (%)	D2 (%)	B1 (%)	A1 (%)	D1 (%)	
35	7,98	11,3	13,7	12,5	0	0	0	54,5
40	3,90	12,1	12,7	10,0	0	0	0	61,3
45	4,10	11,7	13,4	10,2	0,33	0	0	60,2
50	3,75	10,3	12,3	10,9	0,21	0,82	0	61,7
55	8,14	12,8	13,6	13,1	0	0	0	52,3

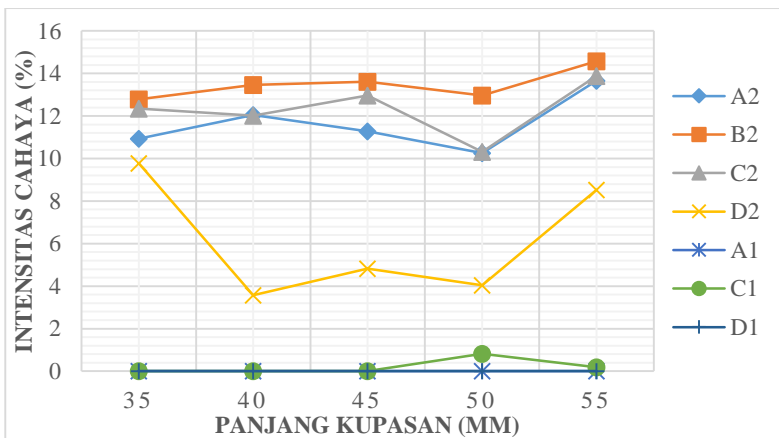
Tabel 4.21 Prosentase *Output Directional Coupler* konfigurasi 4×4 Susunan Planar dengan Sinyal *Input* pada Port D1

Panjang Kupasan (mm)	Output (au)				Balik (au)			Loss (%)
	A2 (%)	B2 (%)	C2 (%)	D2 (%)	B1 (%)	C1 (%)	A1 (%)	
35	11,7	10,7	11,9	12,7	0,12	0	0,12	52,7
40	10,3	4,50	8,86	12,7	0	0	0	63,5
45	12,8	7,52	12,6	13,4	0,36	0	0,36	52,9
50	9,26	3,85	10,3	12,2	0	0	0	64,4
55	13,0	9,42	12,9	13,7	0	0	0	50,9

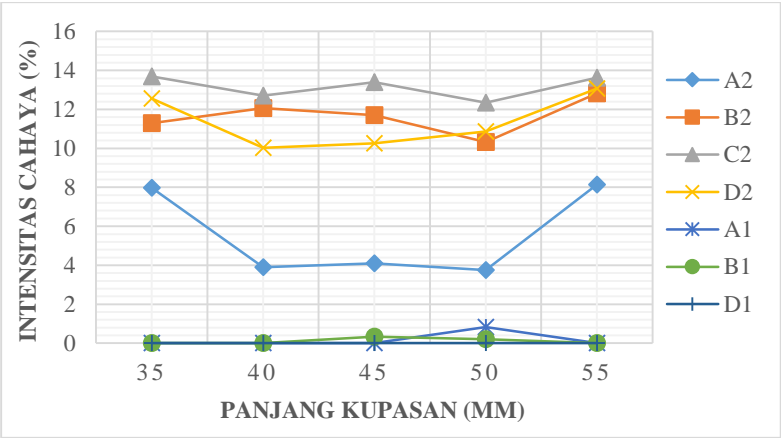
Berdasarkan data pada Tabel 4.18, 4.19, 4.20 dan 4.21 diatas, data dapat disajikan dalam bentuk grafik hubungan intensitas cahaya pada *output* di setiap Port *input* dengan variasi panjang kupasan yang dapat dilihat pada Gambar 4.7, 4.8, 4.9, dan 4.10 sebagai berikut :



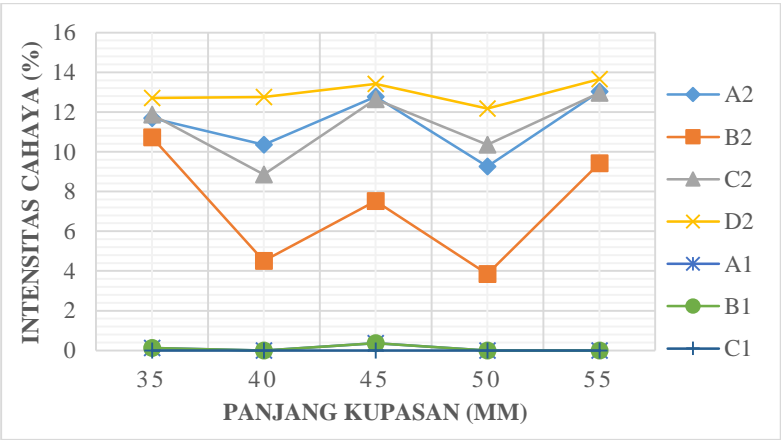
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port A1 sebagai Sinyal *Input*



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port B1 sebagai Sinyal *Input*



Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port C1 sebagai Sinyal *Input*



Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port D1 sebagai Sinyal *Input*

Berdasarkan persamaan (2.22), (2.24), (2.25), dan (2.26) dapat diketahui nilai parameter *directional coupler*. Dengan demikian dilakukan perhitungan yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, dan 4.26 berikut ini :

Tabel 4.22 Karakteristik *Directional Coupler* Susunan Persegi dengan Panjang Kupasan 35 mm

Input	CR	Le (dB)
A1	0,29	-3,66
	0,27	
	0,19	
	0,25	
B1	0,24	-3,39
	0,28	
	0,27	
	0,21	
C1	0,17	-3,42
	0,25	
	0,30	
	0,27	
D1	0,25	-3,28
	0,23	
	0,25	
	0,27	

Tabel 4.23 Karakteristik *Directional Coupler* Susunan Persegi dengan Panjang Kupasan 40 mm

INPUT	CR	Le (dB)
A1	0,31	-3,72
	0,30	
	0,10	
	0,29	
B1	0,29	-3,86
	0,33	
	0,29	
	0,09	
C1	0,10	-4,12
	0,31	
	0,33	
	0,26	
D1	0,28	-4,38
	0,12	
	0,24	
	0,35	

Tabel 4.24 Karakteristik *Directional Coupler* Susunan Persegi dengan Panjang Kupasan 45 mm

Input	CR	Le (dB)
A1	0,28	-3,29
	0,26	

	0,18	
	0,28	
B1	0,26	-3,69
	0,32	
	0,30	
	0,11	
C1	0,10	-4,04
	0,30	
	0,34	
	0,26	
D1	0,27	-3,34
	0,16	
	0,27	
	0,29	

Tabel 4.25 Karakteristik *Directional Coupler* Susunan Persegi dengan Panjang Kupasan 50 mm

Input	CR	Le (dB)
A1	0,32	-4,28
	0,29	
	0,10	
	0,28	
B1	0,27	-4,25
	0,34	
	0,27	

	0,11	
C1	0,10	-4,28
	0,28	
	0,33	
	0,29	
D1	0,26	-4,48
	0,11	
	0,29	
	0,34	

Tabel 4.26 Karakteristik *Directional Coupler* Susunan Persegi dengan Panjang Kupasan 55 mm

INPUT	CR	Le
A1	0,28	-2,95
	0,27	
	0,19	
	0,26	
B1	0,27	-2,95
	0,29	
	0,27	
	0,17	
C1	0,17	-3,22
	0,27	
	0,28	
	0,27	

D1	0,26	-3,09
	0,19	
	0,26	
	0,28	

4.3 Pembahasan

Pada penelitian ini fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 dilakukan menjadi dua macam dengan perbedaan tahapan penggandengan. Dua macam tahapan penggandengan yang dilakukan yaitu pertama *directional coupler* digandeng dengan susunan planar atau sejajar memanjang dan kedua digandeng dengan susunan persegi. Perbedaan tahapan penggandengan dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan susunan *directional coupler* yang lebih baik digunakan sebagai piranti pemecah berkas atau pembagi daya.

Proses fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 planar dan persegi memiliki perbedaan dalam proses pengupasan serat optik. Pada *directional coupler* konfigurasi 4×4 planar, serat optik B dan serat optic C yang diletakkan di bagian tengah *directional coupler* dikupas sisi kanan dan sisi kirinya sehingga tersisa bagian tengahnya dengan ketebalan 0,5 mm. Sedangkan serat optik A dan serat optik D yang masing-masing diletakkan di bagian tepi *directional coupler* dikupas salah satu sisinya sehingga tersisa sisi yang lain dengan ketebalan sama yaitu 0,5 mm. Ketebalan antara serat optik yang diletakkan di bagian tengah dengan serat optic yang diletakkan di bagian tepi dibuat sama agar penjalaran cahaya dapat terpandu sama di setiap serat optik. Namun demikian, intensitas cahaya yang melewati di setiap port berbeda. Hal itu disebabkan karena cahaya yang terpandu di dalam serat optic lebih dominan melewati sumbu serat optic daripada melewati tepi serat optic. Kebanyakan sinar yang terpandu berdasarkan prinsip pemantulan dalam total terpantul melewati sumbu serat optic, namun hanya sebagian yang melewati salah satu tepi serat optik

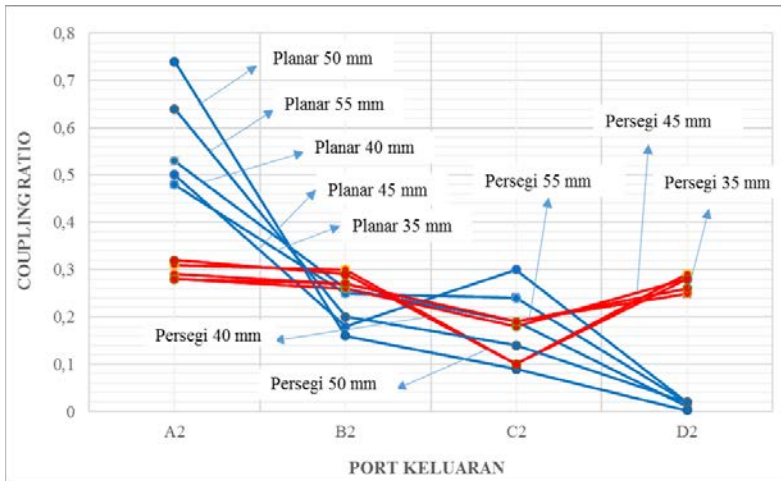
karena sebagian yang lainnya melewati tepi serat optik yang lainnya. Sehingga intensitas cahaya yang melewati sumbu serat optik atau bagian tengah serat optik lebih banyak daripada yang melewati bagian tepi. Terlihat bahwa penjalaran yang terjadi pada *directional coupler* susunan planar ini jika *input* yang masuk pada serat optik A dan serat optik D menghasilkan intensitas yang sangat kecil pada bagian serat optik *output* yang terjauh dari port serat optik *Input*nya. Hal ini terjadi intensitas cahaya yang merambat ketika berada di serat optik *input* lebih besar melewati sumbu serat optik daripada intensitas cahaya yang melewati tepi serat optik sehingga intensitas cahaya yang berhasil melewati tepi serat optik akan terpandu di dalam serat optik yang berada di sampingnya. Misalnya, serat optik A sebagai *input*. Intensitas cahaya yang melewati tepi serat optik A akan menjalar pada serat optik B dengan intensitas yang berkurang karena sebagian intensitas cahaya hanya melewati sumbu serat optik A. Setelah itu, intensitas cahaya yang berhasil menjalar pada serat optik B sebagian akan melewati tepi serat optik B dan menjalar ke serat optik C sampai ke serat optik D dengan semakin berkurangnya intensitas cahaya yang dapat menjalar sampai serat optik terjauh. Dengan demikian, intensitas cahaya pada serat optik *output* yang terletak paling jauh dari serat optik *input* akan memiliki nilai intensitas cahaya paling kecil, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Namun, berbeda dengan jika *input* berada pada serat optik bagian tengah yaitu serat optik B dan serat optik C. Intensitas cahaya yang melewati serat optik B dan serat optik C lebih banyak daripada *input* berada pada serat optik A dan serat optik D. Hal ini dikarenakan serat optik bagian tengah dikupas pada kedua sisinya sehingga intensitas yang merambat pada tepi serat optik akan merambat pada tepi di kedua sisinya yang berarti intensitas cahaya akan menjalar pada serat optik yang berada di kedua sisinya. Oleh karena itu, intensitas cahaya pada *output* terlihat lebih besar dibandingkan jika *input* berada pada serat optik A dan serat optik D. Faktor ketebalan serat optik yang dikupas berpengaruh pada intensitas cahaya yang melewatinya. Semakin tipis serat optik yang

dikupas maka semakin sedikit pula intensitas cahaya yang dapat melewatinya.

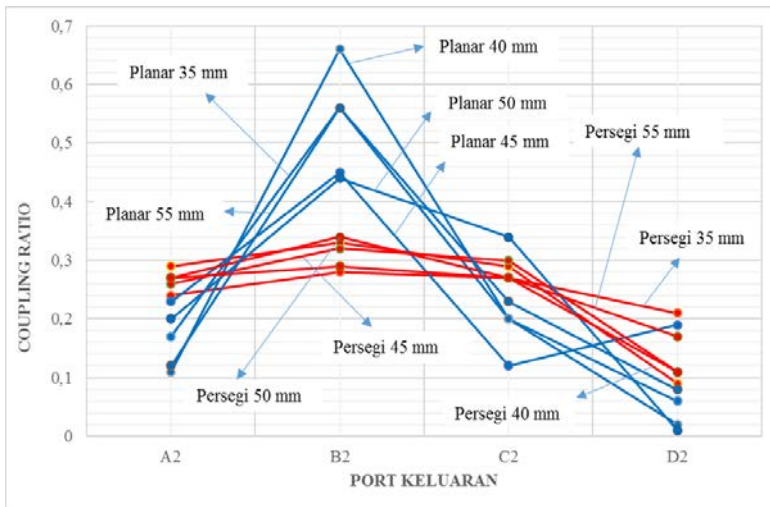
Sedangkan untuk *directional coupler* konfigurasi 4×4 susunan persegi memiliki perbedaan proses pengupasan dengan susunan planar. Pada susunan persegi keempat serat optik dikupas semua sisinya sehingga hanya menyisakan daerah *cladding*, yang kemudian akan dilanjutkan dengan dilakukan pemolesan dengan menggunakan ampelas dengan beberapa ukuran *mesh* sampai didapatkan daerah *core* dari serat optik tersebut. Pengupasan hanya dilakukan pada daerah kopling dengan variasi panjang kupasan yang sudah ditentukan. Susunan persegi ini memiliki rincian susunan dengan menyusun dua serat optik pada bagian atas dan dua serat optik di bagian bawah kemudian digandengkan membentuk susunan persegi. Dua serat optik pada bagian atas merupakan serat optik A dan serat optik B sedangkan dua bagian bawah merupakan serat optik C dan serat optik D. intensitas cahaya yang melewati setiap port juga memiliki nilai yang berbeda namun lebih baik dari *directional coupler* susunan planar. Pada susunan intensitas cahaya dari serat optik *input* yang melewati tepi serat optik akan menjalar atau pindah ke serat optik di samping dan dibawahnya sehingga intensitas antara ketiganya tidak jauh berbeda namun, untuk serat optik yang terletak diagonal dengan serat optik *input* hanya menerima intensitas dari serat optik yang menerima intensitas cahaya dari serat optik *input*. Sedangkan intensitas cahaya dari serat optik *input* hanya sedikit saja yang sampau pada serat optik yang terletak diagonal dengannya. Hal ini dikarenakan adanya *gap* atau celah yang terdapat diantara keduanya. Terbukti dari data yang didapat seperti Tabel 4.14, 4.15, 4.16 dan 4.17 bahwa nilai intensitas *output* dari serat optik yang terletak diagonal dari serat optik *input* selalu memiliki nilai intensitas cahaya paling kecil. Misalnya input pada serat optik A1 maka nilai intensitas cahaya pada serat optik C2 adalah yang paling kecil diantara lainnya. Begitu juga dengan input di serat optik B1 dengan output di serat optik D2 karena keduanya terletak diagonal dengan serat optik *input*. Faktor ketebalan serat optik sangat berpengaruh pada

directional coupler susunan persegi ini karena semua sisi serat optik dikupas dan hanya tersisa bagian *core* saja karena proses pemolesan tidak sama antara serat optik satu dengan lainnya. Hal ini diakibatkan acuan untuk mendapatkan bagian *core* juga berbeda antara satu dengan lainnya. Proses pengupasan seperti ini juga berpengaruh terhadap penjalaran cahaya di dalamnya karena pada tahapan penggandengan keempat serat optik hanya digandengan dengan menggunakan benang. Sehingga pemantulan dalam total belum dapat terjadi secara sempurna, dikarenakan tidak ada pengganti bagian daerah *claddingnya* pada daerah selain kopling yang digandeng. Namun, jika diperhatikan dengan seksama pada panjang kupasan 35 mm, intensitas cahaya di setiap port serat optik A, B, C dan D hampir rata. Pada panjang kupasan ini serat optik dapat membagi intensitas cahaya hampir dikatakan baik dibanding dengan *directional coupler* susunan planar dengan panjang kupasan yang sama.

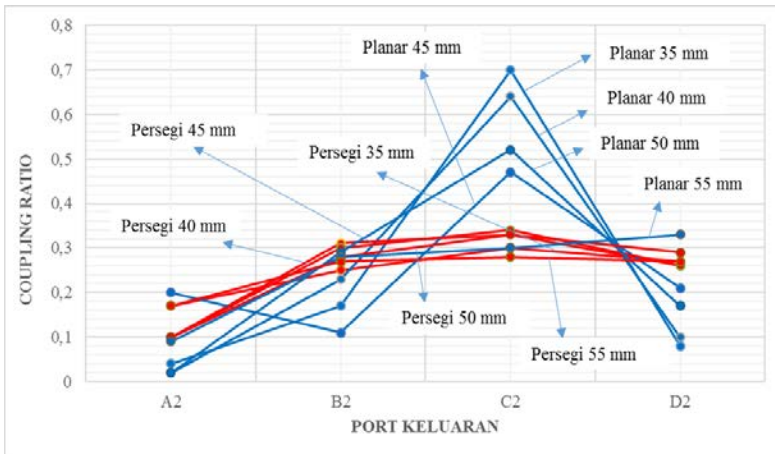
Proporsi daya masukan pada masing-masing keluaran atau *coupling ratio* pada *directional coupler* susunan planar dan susunan persegi menunjukkan perbedaan. Hal ini dikarenakan perbedaan susunan dari serat optik, kupasan dan juga penjalaran cahaya yang terjadi. Perbedaan-perbedaan inilah yang dapat menunjukkan kemampuan dari *directional coupler* susunan planar maupun susunan persegi sehingga dapat digunakan sebagai piranti pemecah berkas maupun pembagi daya. Variasi panjang kupasan yang dipakai dalam penelitian ini yaitu 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm untuk masing-masing susunan *directional coupler*, sehingga dapat diketahui juga panjang kupasan yang baik digunakan sebagai piranti pemecah berkas maupun pembagi daya. Perbedaan *directional coupler* susunan planar dan susunan persegi dapat ditunjukkan pada Gambar 4.11, 4.12, 4.13 dan 4.14 sebagai berikut:



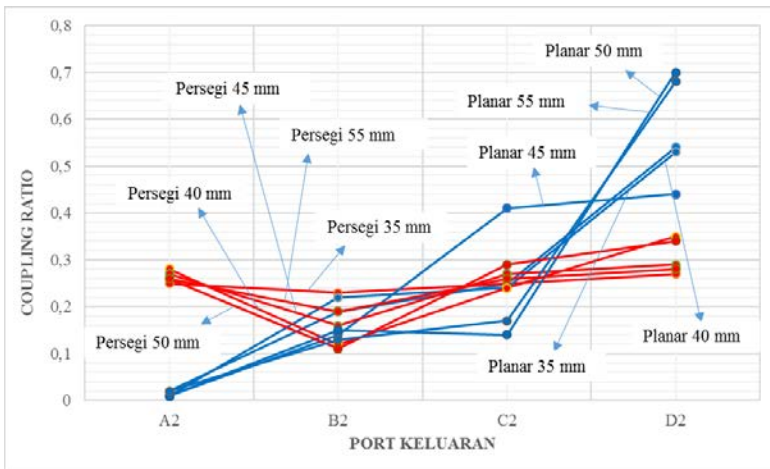
Gambar 4.11 Perbandingan nilai *coupling ratio* susunan planar dan susunan persegi pada Port masukan A1 dengan variasi panjang kupasan



Gambar 4.12 Perbandingan nilai *coupling ratio* susunan planar dan susunan persegi pada Port masukan B1 dengan variasi panjang kupasan



Gambar 4.13 Perbandingan nilai *coupling ratio* susunan planar dan susunan persegi pada Port masukan C1 dengan variasi panjang kupasan



Gambar 4.14 Perbandingan nilai *coupling ratio* susunan planar dan susunan persegi pada Port masukan D1 dengan variasi panjang kupasan

Gambar 4.11, 4.12, 4.13 dan 4.14 dapat menjelaskan pembagian atau penjalaran cahaya pada setiap port keluaran untuk *directional coupler* susunan planar maupun susunan persegi. Pada susunan persegi pembagian daya pada setiap port keluaran hampir terbagi rata. Namun, pada port masukan A1 dan C1 terlihat bahwa penjalaran cahaya paling kecil terjadi pada port keluaran C2 untuk port masukan A1 dan port keluaran A2 pada port masukan C1. Hal ini dapat disebabkan karena letak dari port keluaran A2 maupun port keluaran C2 terletak diagonal dengan port masukannya, sehingga port keluaran A2 dan C2 hanya mendapatkan penjalaran cahaya dari port disampingnya. Sedangkan port masukan hanya menyalurkan cahaya melalui cahaya yang terpancar ke port keluaran yang berada diagonal terhadapnya. Pada port masukan B1 dan D1 mengalami penjalaran cahaya yang terbilang hampir rata pada setiap port keluarannya. Namun, tetap terlihat bahwa port keluaran yang terletak diagonal mempunyai nilai *coupling ratio* paling kecil diantara port keluaran lainnya.

Sedangkan pada susunan planar memiliki penjalaran cahaya yang berbeda dengan susunan persegi. Penjalaran cahaya sama terjadi pada port masukan A1 dan D1 serta pada port masukan B1 dan C1. Pada port masukan A1 dan D1 yang terletak pada ujung dari *directional coupler* terlihat bahwa penjalaran cahaya terjadi dengan adanya penurunan nilai *coupling ratio* dari port keluaran terdekat sampai terjauh. Pada port masukan A1 dan D1 nilai *coupling ratio* paling kecil terjadi pada port keluaran D2 untuk port masukan A1 dan port keluaran A2 untuk port masukan D1. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh letak port keluaran terhadap port masukan maka intensitas cahaya yang keluar juga semakin kecil. Sedangkan pada port masukan B1 dan C1 menunjukkan bahwa penjalaran cahaya dan pembagian dayanya dapat terbagi dengan port keluaran di samping kanan dan kirinya. Kedua susunan yaitu planar maupun persegi mengalami penurunan pada port keluaran dengan karakteristik yang berbeda. Namun, pada susunan persegi penurunan nilai *coupling ratio* memiliki selisih yang

terbilang sangat kecil dibandingkan dengan penurunan yang terjadi pada susunan planar yang mengalami penurunan dengan selisih yang cukup besar. Hal ini dapat menjelaskan bahwa *directional coupler* susunan persegi dapat menjadi pilihan digunakan sebagai piranti pemecah berkas maupun pembagi daya karena pada susunan persegi ini penjalaran cahaya terlihat hampir sama pada setiap port keluarannya.

Setelah melihat cara pembagian daya yang terjadi pada *directional coupler* susunan planar maupun susunan persegi didapatkan bahwa susunan persegi memiliki pembagian daya yang baik terbilang hamper rata. Sedangkan untuk susunan planar terbilang jauh dari rata. Dilihat dari perbandingan antara variasi panjang kupasan dari susunan planar maupun susunan persegi dapat diketahui bahwa pada panjang kupasan 35 mm dengan port masukan B1 dan port masukan D1 menunjukkan daya terbagi rata yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 dan 4.14 untuk susunan persegi. Sedangkan pada susunan planar ditemukan pada panjang kupasan 45 mm dengan port masukan B1 terbilang mendekati rata namun tetap saja penurunan yang sangat besar terjadi pada port B2 ke port C2 ditunjukkan pada Gambar 4.12.

Pada *directional coupler* susunan planar maupun susunan persegi, serat optik dikupas *coating* dan *cladding*-nya sehingga tersisa *core*, bagian *core* yang terkupas ini digabung dengan *core* serat optik lainnya, sehingga pada susunan planar *gap* atau celah antar-*core* yang terbentuk lebih kecil dibandingkan dengan susunan persegi yang memiliki *gap* yang lebih besar karena pada susunan ini terdapat posisi diagonal dimana ditengah *coupler* dari keempat serat optik yang diganding terdapat *gap*. Namun, dilihat dari penjalaran cahaya lebih baik susunan persegi dibandingkan susunan planar. Hal ini dikarenakan lebar lintasan perambatan cahaya pada susunan planar lebih besar dibandingkan susunan persegi yang mengakibatkan intensitas cahaya dari *input* akan berkurang dan semakin habis ketika mencapai serat optik *output* yang terjauh. Pada daerah kupasan yang digabung ini terjadi kebocoran gelombang, yaitu moda orde tinggi pada serat optik

yang satu berpindah ke serat optik yang lainnya sedangkan moda orde rendah tetap terpandu pada serat optik awal. Proses perpindahan daya gelombang optik ini sesuai dengan teori moda terkopel. Kebocoran gelombang semakin besar apabila melewati daerah *bending*, sehingga daya gelombang optik yang dipindahkan ke serat optik lainnya lebih besar. Kebocoran gelombang juga bertambah besar seiring dengan bertambahnya panjang kupasan sehingga rugi daya semakin besar pada saat panjang kupasan semakin besar. Hal ini dapat ditunjukkan seperti pada grafik Gambar 4.5 bahwa semakin bertambahnya besar panjang kupasan maka nilai intensitas cahaya akan semakin kecil yang berarti bahwa rugi daya semakin bertambah besar. Seperti juga yang ditunjukkan pada Tabel 4.7, intensitas cahaya dari *input* Port C1 yang melewati Port C2 semakin kecil dengan bertambahnya panjang kupasan. Perlu diperhatikan juga ternyata kebocoran gelombang dari serat optik C yang semakin besar cenderung meningkatkan intensitas cahaya yang melalui serat optik di sekelilingnya.

Perbedaan nilai intensitas cahaya dapat menyebabkan nilai parameter-parameter *directional coupler* seperti CR (*Coupling Ratio*), Le (*Excess Loss*), Lins (*Insertion Loss*), dan D (*Directivity*) juga berbeda. Perbedaan nilai-nilai tersebut salah satunya disebabkan oleh ketidaksimetrian sepanjang daerah kupasan dan daerah ujung pengupasan antara keempat serat optik pada saat proses pengupasan dan penggandengan. Ketidaksimetrian terjadi akibat struktur permukaan serat optik hasil pengupasan yang tidak rata dan ketebalan kupasan yang berbeda serta panjang kupasan yang tidak sama (dalam orde mikro) untuk tiap serat optik yang digandeng. Hal ini dikarenakan daerah kerja pada serat optik dalam orde nano (panjang gelombang), sedangkan fabrikasi yang dilakukan secara konvensional dengan pengukuran menggunakan orde mili.

Berdasarkan prosentase *output directional coupler* untuk susunan planar yang ditampilkan pada Tabel 4.5, Tabel 4.6, Tabel 4.7 dan Tabel 4.8. Sedangkan *directional coupler* susunan persegi ditampilkan pada Tabel 4.18, Tabel 4.19, Tabel 4.20 dan Tabel 4.2,

serta secara eksplisit dapat dilihat dengan jelas pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9 dan Gambar 4.10, bahwasannya nilai intensitas cahaya pada *directional coupler* susunan planar tidak ada yang dapat terbagi rata. Sehingga dapat dikatakan bahwa untuk *directional coupler* konfigurasi 4×4 susunan planar kurang baik atau kurang mampu digunakan sebagai pembagi daya maupun pemecah berkas. Sedangkan pada susunan persegi intensitas cahaya terbagi rata di keempat keluaran serat optik yaitu Port A2, Port B2, Port C2 dan Port D2 pada panjang kupasan 35 mm dengan *input* pada Port B1 dan Port D1. Karakteristik *directional coupler* dengan panjang kupasan 35 mm dan *input* pada Port B1 menunjukkan bahwa nilai $CR = 0,24 : 0,28 : 0,27 : 0,21$ dan $Le = -3,39$ dB, sedangkan pada port D1 menunjukkan bahwa nilai $CR = 0,25 : 0,23 : 0,25 : 0,27$ dan $Le = -3,28$ dB. Panjang kupasan 35 mm susunan persegi ini sangat baik digunakan sebagai piranti pemecah berkas (*beam splitter*) maupun sebagai pembagi daya (*power divider*). Dari hasil karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N, dapat disimpulkan bahwa *directional coupler* konfigurasi 4×4 dengan susunan persegi dan panjang kupasan 35 mm paling baik digunakan sebagai pembagi daya maupun pemecah berkas sehingga selanjutnya dapat digunakan sebagai piranti dalam sensor.

LAMPIRAN A
Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler*
Konfigurasi 4 × 4 Susunan Planar dan Persegi Menggunakan
BF5R-D1-N

A. Daya Input

No.	Daya Input (au)
1	3255
2	3287
3	3294
4	3285
5	3276
6	3301
7	3313
8	3304
9	3292
10	3311
11	3283
12	3273
13	3315
14	3286
15	3270
16	3258
17	3272
18	3308
19	3279
20	3304
21	3267
22	3258
23	3317
24	3280
25	3248
Rata-rata	3285,44

B. Hasil Data Susunan Planar

1. Pada Directional Coupler dengan Panjang Kupasan 35 mm

Input A1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	B1	D1
1	460	230	223	16	3	0	0
2	441	224	218	16	3	0	0
3	444	227	219	16	3	0	0
4	438	228	209	16	3	0	0
5	432	225	214	16	3	0	0
6	428	224	210	16	3	0	0
7	424	222	212	16	3	0	0
8	419	221	211	16	3	0	0
9	416	220	208	16	3	0	0
10	413	218	213	16	3	0	0
11	423	219	211	16	3	0	0
12	418	217	209	16	3	0	0
13	420	219	207	16	3	0	0
14	422	218	206	16	3	0	0
15	421	217	208	16	3	0	0
16	415	218	210	16	3	0	0
17	406	216	209	16	3	0	0
18	404	215	207	16	3	0	0
19	414	217	211	16	3	0	0
20	413	215	206	16	3	0	0
21	403	218	203	16	3	0	0
22	404	214	204	16	3	0	0
23	405	215	207	16	3	0	0
24	401	221	205	16	3	0	0
25	396	224	210	16	3	0	0
Rata-rata	419,2	220,08	210	16	3	0	0

Input B1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	C1	D1
1	400	1332	475	142	68	0	0
2	398	1343	469	144	67	0	0
3	404	1329	458	143	67	0	0
4	393	1315	461	138	68	0	0
5	392	1308	457	141	67	0	0
6	396	1318	455	143	67	0	0
7	395	1304	460	137	68	0	0
8	388	1292	457	139	66	0	0
9	390	1301	445	133	65	0	0
10	371	1270	447	136	66	0	0
11	392	1252	451	138	67	0	0
12	388	1236	457	134	66	0	0
13	386	1221	455	132	65	0	0
14	382	1242	450	133	66	0	0
15	384	1235	437	134	64	0	0
16	385	1247	436	129	66	0	0
17	380	1228	442	131	67	0	0
18	378	1237	444	132	65	0	0
19	379	1246	429	130	65	0	0
20	374	1228	435	127	60	0	0
21	385	1225	434	131	60	0	0
22	384	1216	440	130	64	0	0
23	379	1243	432	129	65	0	0
24	385	1216	431	134	66	0	0
25	387	1190	425	128	60	0	0
Rata-rata	387	1262,96	447,28	134,72	65,4	0	0
Input C1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	A1	D1
1	86	386	1574	184	0	0	0

2	84	375	1567	183	0	0	0
3	85	379	1565	184	0	0	0
4	83	370	1535	181	0	0	0
5	84	376	1518	179	0	0	0
6	82	372	1471	174	0	0	0
7	83	365	1480	179	0	0	0
8	81	373	1447	180	0	0	0
9	80	368	1433	179	0	0	0
10	81	372	1437	174	0	0	0
11	82	366	1491	171	0	0	0
12	81	364	1446	172	0	0	0
13	83	369	1439	173	0	0	0
14	81	371	1420	170	0	0	0
15	82	369	1437	172	0	0	0
16	81	366	1448	173	0	0	0
17	82	365	1456	170	0	0	0
18	84	364	1441	171	0	0	0
19	83	361	1438	172	0	0	0
20	82	355	1422	171	0	0	0
21	83	357	1452	170	0	0	0
22	81	359	1461	167	0	0	0
23	83	362	1431	169	0	0	0
24	82	355	1391	171	0	0	0
25	81	364	1439	170	0	0	0
Rata-rata	82,4	367,32	1465,56	174,36	0	0	0

Input D1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	A1
1	20	198	263	601	0	0	0
2	20	202	262	587	0	0	0
3	20	198	267	579	0	0	0
4	20	196	264	577	0	0	0

5	20	197	266	575	0	0	0
6	20	195	263	590	0	0	0
7	20	197	261	591	0	0	0
8	20	196	262	563	0	0	0
9	20	198	265	555	0	0	0
10	20	189	264	572	0	0	0
11	20	193	265	568	0	0	0
12	20	194	257	561	0	0	0
13	20	196	259	553	0	0	0
14	20	199	260	575	0	0	0
15	20	197	255	554	0	0	0
16	20	200	261	566	0	0	0
17	20	201	257	571	0	0	0
18	20	198	258	564	0	0	0
19	20	200	256	572	0	0	0
20	20	197	262	567	0	0	0
21	20	199	257	571	0	0	0
22	20	195	260	579	0	0	0
23	20	199	256	572	0	0	0
24	20	197	260	563	0	0	0
25	20	196	258	577	0	0	0
Rata-rata	20	197,08	260,72	572,12	0	0	0

2. Pada Directional Coupler dengan Panjang Kupasan 40 mm

Input A1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	C1	D1
1	453	215	158	8	130	0	24
2	446	209	155	8	129	0	24
3	444	205	156	8	126	0	24
4	421	211	153	8	123	0	24
5	424	204	154	8	121	0	24
6	423	203	152	8	120	0	24

7	421	201	150	8	118	0	24
8	420	203	149	8	125	0	24
9	418	202	147	8	123	0	24
10	422	201	154	8	114	0	24
11	415	197	150	8	118	0	24
12	416	200	144	8	122	0	24
13	413	199	146	8	118	0	24
14	403	196	148	8	117	0	24
15	400	195	147	8	120	0	24
16	408	191	145	8	118	0	24
17	404	192	144	8	118	0	24
18	407	194	150	8	117	0	24
19	397	196	143	8	116	0	24
20	402	191	147	8	117	0	24
21	399	190	144	8	115	0	24
22	393	193	143	8	114	0	24
23	391	191	142	8	113	0	24
24	290	193	146	8	113	0	24
25	387	190	144	8	114	0	24
Rata-rata	408,68	198,48	148,44	8	119,16	0	24

Input B1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	C1	D1
1	255	1505	462	39	102	0	8
2	253	1498	451	39	103	0	8
3	251	1468	453	39	101	0	8
4	247	1432	450	39	99	0	8
5	248	1439	446	39	100	0	8
6	244	1450	441	39	99	0	8
7	247	1427	440	39	97	0	8
8	243	1440	439	39	98	0	8
9	241	1422	432	39	99	0	8

10	242	1445	433	39	99	0	7
11	245	1419	430	39	96	0	7
12	241	1410	417	39	97	0	7
13	239	1424	419	39	98	0	7
14	243	1362	418	39	96	0	7
15	241	1389	422	39	98	0	7
16	238	1378	421	39	96	0	7
17	236	1392	413	39	95	0	7
18	237	1372	416	39	94	0	7
19	240	1395	418	39	96	0	7
20	237	1358	411	39	95	0	7
21	235	1325	410	39	93	0	7
22	232	1356	402	39	93	0	7
23	237	1329	406	39	92	0	7
24	232	1343	411	39	93	0	7
25	235	1330	408	39	94	0	7
Rata-rata	241,56	1404,32	426,76	39	96,92	0	7,36
Input C1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	A1	D1
1	33	421	1174	187	0	0	0
2	33	418	1141	186	0	0	0
3	33	413	1132	187	0	0	0
4	33	409	1140	188	0	0	0
5	33	412	1120	184	0	0	0
6	33	402	1118	182	0	0	0
7	33	408	1105	179	0	0	0
8	33	402	1117	182	0	0	0
9	33	395	1110	180	0	0	0
10	33	401	1086	178	0	0	0
11	33	407		177	0	0	0
12	33	396		179	0	0	0
13	33	393	1085	174	0	0	0

14	33	396	1073	176	0	0	0
15	33	391	1083	179	0	0	0
16	33	385	1070	177	0	0	0
17	33	389	1078	180	0	0	0
18	33	386	1065	175	0	0	0
19	33	390	1056	179	0	0	0
20	33	395	1042	177	0	0	0
21	33	386	1038	173	0	0	0
22	33	379	1041	172	0	0	0
23	33	387	1047	176	0	0	0
24	33	384	1035	173	0	0	0
25	33	385	1044	175	0	0	0
Rata-rata	33	397,2	1089,56	179	0	0	0

Input D1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	A1
1	8	277	301	674	0	0	10
2	8	275	294	660	0	0	10
3	8	270	293	650	0	0	10
4	8	271	292	642	0	0	10
5	8	266	294	631	0	0	10
6	8	263	293	626	0	0	10
7	8	260	289	617	0	0	10
8	8	261	292	630	0	0	10
9	8	258	287	622	0	0	10
10	8	263	279	628	0	0	10
11	8	260	282	626	0	0	10
12	8	258	287	617	0	0	10
13	8	260	280	609	0	0	10
14	8	256	285	603	0	0	10
15	8	259	282	597	0	0	10
16	8	258	281	601	0	0	10

17	8	260	276	598	0	0	10
18	8	262	278	614	0	0	10
19	8	264	279	575	0	0	10
20	8	261	281	584	0	0	10
21	8	257	275	605	0	0	10
22	8	258	273	599	0	0	10
23	8	259	272	588	0	0	10
24	8	250	275	581	0	0	10
25	8	252	270	590	0	0	10
Rata-rata	8	261,52	283,6	614,68	0	0	10

3. Pada Directional Coupler dengan Panjang Kupasan 45 mm

Input A1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	D1
1	582	194	304	20	29	0	0
2	554	195	307	20	28	0	0
3	548	188	314	20	28	0	0
4	535	187	306	20	28	0	0
5	530	188	308	20	28	0	0
6	542	186	312	20	27	0	0
7	525	183	311	20	27	0	0
8	517	185	309	20	27	0	0
9	521	183	306	20	27	0	0
10	518	184	307	20	26	0	0
11	516	181	309	20	26	0	0
12	524	188	308	20	26	0	0
13	505	185	303	20	26	0	0
14	501	181	306	20	26	0	0
15	510	184	301	20	26	0	0
16	500	183	300	20	26	0	0
17	509	181	299	20	26	0	0
18	512	183	301	20	26	0	0

19	506	182	298	20	26	0	0
20	501	181	304	20	26	0	0
21	507	184	296	20	25	0	0
22	501	180	292	20	25	0	0
23	494	182	295	20	25	0	0
24	496	178	297	20	25	0	0
25	491	176	298	20	25	0	0
Rata-rata	517,8	184,08	303,64	20	26,4	0	0

Input B1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	C1	D1
1	376	778	214	316	14	0	0
2	365	770	211	322	13	0	0
3	359	768	206	318	13	0	0
4	355	763	203	314	12	0	0
5	351	757	211	310	12	0	0
6	347	768	207	309	12	0	0
7	352	742	204	303	13	0	0
8	345	758	202	312	13	0	0
9	348	743	201	310	13	0	0
10	342	762	199	309	13	0	0
11	349	746	198	305	13	0	0
12	348	741	200	303	13	0	0
13	352	733	198	306	13	0	0
14	343	749	199	300	13	0	0
15	348	730	196	296	13	0	0
16	347	734	195	294	13	0	0
17	342	716	196	300	13	0	0
18	346	715	194	299	13	0	0
19	350	713	195	304	13	0	0
20	349	721	192	299	13	0	0
21	343	710	198	300	13	0	0

22	342	739	201	294	13	0	0
23	336	715	193	298	13	0	0
24	334	706	196	302	13	0	0
25	342	711	194	297	13	0	0
Rata-rata	348,4 4	739,5 2	200,1 2	304,8	12,92	0	0
Input C1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	A1	D1
1	336	193	789	344	0	0	82
2	329	189	784	348	0	0	83
3	331	187	775	353	0	0	86
4	334	191	772	355	0	0	85
5	330	192	762	349	0	0	85
6	332	187	770	351	0	0	86
7	330	185	760	354	0	0	86
8	335	189	764	347	0	0	84
9	331	186	751	343	0	0	82
10	327	184	772	341	0	0	84
11	324	183	763	342	0	0	83
12	331	182	754	343	0	0	82
13	325	180	756	340	0	0	83
14	331	184	766	345	0	0	82
15	324	178	757	339	0	0	83
16	326	182	749	340	0	0	83
17	328	181	747	345	0	0	82
18	317	180	750	341	0	0	81
19	327	179	754	338	0	0	85
20	323	180	740	347	0	0	82
21	322	182	745	338	0	0	82
22	318	181	717	344	0	0	84
23	319	176	730	341	0	0	82
24	324	178	711	336	0	0	84
25	323	182	731	343	0	0	85

Rata-rata	327,0 8	183,6 4	754,7 6	344,2 8	0	0	83,4 4
-----------	------------	------------	------------	------------	---	---	-----------

Input D1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	A1
1	12	130	377	331	0	7	0
2	12	126	375	350	0	7	0
3	12	129	374	361	0	7	0
4	12	127	371	385	0	7	0
5	12	126	379	401	0	7	0
6	12	125	374	400	0	7	0
7	12	126	368	406	0	7	0
8	12	123	366	399	0	7	0
9	12	125	363	382	0	7	0
10	12	122	361	394	0	7	0
11	12	124	370	385	0	7	0
12	12	121	368	395	0	7	0
13	12	123	359	387	0	7	0
14	12	119	363	389	0	7	0
15	12	124	361	391	0	7	0
16	12	121	362	395	0	7	0
17	12	122	360	394	0	7	0
18	12	120	367	396	0	7	0
19	12	124	361	392	0	7	0
20	12	122	359	386	0	7	0
21	12	121	370	395	0	7	0
22	12	120	355	398	0	7	0
23	12	121	362	403	0	7	0
24	12	119	347	391	0	7	0
25	12	121	350	394	0	7	0
Rata-rata	12	123,24	364,88	388	0	7	0

4. Pada Directional Coupler dengan Panjang Kupasan 50 mm

Input A1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	C1	D1
1	1122	240	129	3	37	0	0
2	1067	233	127	3	37	0	0
3	1041	231	129	3	37	0	0
4	1052	225	126	3	37	0	0
5	1040	222	127	3	37	0	0
6	1036	227	129	3	37	0	0
7	1023	224	128	3	37	0	0
8	1038	220	129	3	38	0	0
9	1011	219	127	3	38	0	0
10	998	217	128	3	38	0	0
11	1016	213	130	3	38	0	0
12	981	215	129	3	38	0	0
13	973	217	126	3	39	0	0
14	1001	215	129	3	39	0	0
15	979	216	128	3	39	0	0
16	993	211	126	3	39	0	0
17	971	218	123	3	39	0	0
18	977	217	126	3	39	0	0
19	973	213	125	3	39	0	0
20	979	217	126	3	39	0	0
21	981	212	129	3	40	0	0
22	989	215	127	3	40	0	0
23	986	211	129	3	40	0	0
24	958	217	125	3	40	0	0
25	969	214	124	3	40	0	0
Rata-rata	1006,16	219,16	127,24	3	38,44	0	0

Input B1		
No.	Output (au)	Balik (au)

	A2	B2	C2	D2	A1	C1	D1
1	199	422	328	11	0	0	0
2	196	417	330	11	0	0	0
3	194	413	329	11	0	0	0
4	191	404	319	11	0	0	0
5	192	403	322	11	0	0	0
6	190	406	326	11	0	0	0
7	191	411	319	11	0	0	0
8	188	405	311	11	0	0	0
9	184	400	307	11	0	0	0
10	186	413	317	11	0	0	0
11	182	407	304	11	0	0	0
12	181	399	302	11	0	0	0
13	185	402	303	11	0	0	0
14	179	391	305	11	0	0	0
15	182	395	296	11	0	0	0
16	183	381	294	11	0	0	0
17	179	377	292	11	0	0	0
18	186	379	295	11	0	0	0
19	178	394	304	11	0	0	0
20	177	381	301	11	0	0	0
21	186	397	296	11	0	0	0
22	181	385	298	11	0	0	0
23	182	387	295	11	0	0	0
24	178	374	290	11	0	0	0
25	181	377	297	11	0	0	0
Rata-rata	185,24	396,8	307,2	11	0	0	0
Input C1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	A1	D1
1	21	356	644	222	0	0	116
2	21	352	650	219	0	0	110
3	21	360	630	212	0	0	109

4	21	348	640	217	0	0	111
5	21	353	630	211	0	0	109
6	21	351	633	208	0	0	108
7	21	354	628	205	0	0	107
8	21	347	624	200	0	0	105
9	21	345	616	202	0	0	103
10	21	349	623	200	0	0	104
11	21	353	614	198	0	0	103
12	21	346	608	201	0	0	103
13	21	343	603	198	0	0	104
14	21	347	611	196	0	0	102
15	21	351	600	195	0	0	102
16	21	342	618	191	0	0	100
17	21	340	615	194	0	0	99
18	21	339	604	189	0	0	100
19	21	335	610	192	0	0	98
20	21	337	589	191	0	0	99
21	21	340	599	195	0	0	100
22	21	333	578	193	0	0	101
23	21	340	575	190	0	0	98
24	21	341	592	191	0	0	98
25	21	340	580	186	0	0	97
Rata-rata	21	345,68	612,56	199,84	0	0	103,44

Input D1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	D1
1	10	190	178	892	0	4	106
2	10	187	177	878	0	4	105
3	10	192	179	882	0	4	102
4	10	189	172	879	0	4	103
5	10	190	176	878	0	4	102
6	10	195	173	866	0	4	101

7	10	191	175	876	0	4	101
8	10	186	170	855	0	4	102
9	10	194	173	857	0	4	99
10	10	191	172	848	0	4	99
11	10	188	170	855	0	4	100
12	10	189	175	827	0	4	99
13	10	190	172	840	0	4	99
14	10	188	171	843	0	4	97
15	10	186	170	823	0	4	98
16	10	187	168	829	0	4	97
17	10	180	173	837	0	4	96
18	10	183	171	830	0	4	97
19	10	182	170	821	0	4	98
20	10	187	169	824	0	4	96
21	10	177	170	822	0	4	97
22	10	178	172	834	0	4	98
23	10	182	174	815	0	4	97
24	10	180	169	810	0	4	97
25	10	177	165	803	0	4	96
Rata-rata	10	186,36	172,16	844,96	0	4	99,28

5. Pada Directional Coupler dengan Panjang Kupasan 55 mm

Input A1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	A1
1	640	187	125	17	0	0	3
2	614	183	123	17	0	0	3
3	595	185	122	17	0	0	3
4	592	186	126	17	0	0	3
5	588	181	124	17	0	0	3
6	591	180	125	17	0	0	3
7	582	183	126	17	0	0	3
8	596	181	121	17	0	0	3

9	591	177	124	17	0	0	3
10	575	184	123	17	0	0	3
11	556	181	125	17	0	0	3
12	570	179	122	17	0	0	3
13	566	178	121	17	0	0	3
14	568	184	120	17	0	0	3
15	574	181	122	17	0	0	3
16	562	177	119	17	0	0	3
17	560	180	124	17	0	0	3
18	565	178	123	17	0	0	3
19	551	181	120	17	0	0	3
20	545	177	121	17	0	0	3
21	548	179	125	17	0	0	3
22	555	180	122	17	0	0	3
23	539	176	120	17	0	0	3
24	534	179	124	17	0	0	3
25	524	177	122	17	0	0	3
Rata-rata	571,24	180,56	122,76	17	0	0	3

Input B1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	D1	C1	A1
1	231	1075	433	154	0	0	17
2	228	1077	425	150	0	0	17
3	226	1040	422	151	0	0	17
4	218	1048	417	149	0	0	17
5	221	1052	415	152	0	0	17
6	219	1049	417	147	0	0	17
7	222	1015	421	149	0	0	17
8	221	1029	431	148	0	0	17
9	218	1011	410	147	0	0	18
10	221	1009	402	146	0	0	18
11	219	1006	401	145	0	0	18

12	216	1013	405	147	0	0	18
13	218	996	400	142	0	0	18
14	217	988	398	140	0	0	18
15	216	978	394	138	0	0	18
16	218	981	400	139	0	0	18
17	221	971	406	136	0	0	18
18	216	946	395	137	0	0	18
19	217	943	394	138	0	0	18
20	213	932	385	137	0	0	18
21	215	936	382	136	0	0	18
22	214	925	390	132	0	0	19
23	207	910	388	134	0	0	19
24	209	928	380	131	0	0	19
25	210	915	382	132	0	0	19
Rata-rata	218,04	990,92	403,72	142,28	0	0	17,84

Input C1

No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	A1	D1
1	115	344	371	392	0	0	0
2	116	336	378	394	0	0	0
3	115	331	376	397	0	0	0
4	112	338	373	392	0	0	0
5	115	341	375	390	0	0	0
6	111	335	371	400	0	0	0
7	110	336	363	396	0	0	0
8	112	334	370	391	0	0	0
9	110	329	358	395	0	0	0
10	109	330	363	393	0	0	0
11	111	333	367	387	0	0	0
12	106	337	360	391	0	0	0
13	108	340	352	389	0	0	0
14	110	335	359	395	0	0	0
15	111	339	350	390	0	0	0

16	110	337	349	396	0	0	0
17	109	331	352	384	0	0	0
18	105	336	350	381	0	0	0
19	110	329	347	383	0	0	0
20	108	324	348	378	0	0	0
21	107	332	346	386	0	0	0
22	106	330	344	391	0	0	0
23	103	326	348	381	0	0	0
24	105	322	343	379	0	0	0
25	102	321	340	386	0	0	0
Rata-rata	109,44	333,04	358,12	389,48	0	0	0

Input D1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	A1
1	26	162	235	941	0	1	
2	26	157	229	910	0	1	0
3	25	158	224	893	0	1	0
4	25	156	223	872	0	1	0
5	26	154	219	879	0	1	0
6	25	155	222	890	0	1	0
7	25	156	221	886	0	1	0
8	26	157	217	855	0	1	0
9	26	156	218	826	0	1	0
10	26	153	221	822	0	1	0
11	26	155	216	828	0	1	0
12	26	157	211	831	0	1	0
13	26	154	209	820	0	1	0
14	26	152	210	811	0	1	0
15	25	156	206	823	0	1	0
16	26	150	203	818	0	1	0
17	26	157	196	816	0	1	0
18	26	158	201	818	0	1	0

19	26	157	204	808	0	1	0
20	26	155	202	817	0	1	0
21	26	157	198	797	0	1	0
22	26	156	199	792	0	1	0
23	25	152	196	788	0	1	0
24	26	155	198	791	0	1	0
25	26	154	197	785	0	1	0
Rata-rata	25,76	155,56	211	836,68	0	1	0

C. Hasil Data Susunan Persegi

1. Pada Directional Coupler dengan Panjang Kupasan 35 mm

Input A1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	D1	C1
1	409	386	269	363	0	4	7
2	398	382	266	361	0	4	7
3	417	392	271	359	0	4	7
4	410	383	267	367	0	4	7
5	412	385	264	362	0	4	7
6	406	384	268	358	0	4	7
7	401	383	271	366	0	4	7
8	405	386	262	357	0	4	7
9	408	393	264	358	0	4	7
10	401	384	262	361	0	4	7
11	403	388	269	364	0	4	7
12	400	390	263	362	0	4	7
13	405	383	261	361	0	4	7
14	402	380	264	355	0	4	7
15	399	382	265	357	0	4	7
16	396	384	260	354	0	4	7
17	406	380	262	359	0	4	7
18	408	384	261	356	0	4	7

19	403	382	267	354	0	4	7
20	401	383	266	352	0	4	7
21	407	387	261	357	0	4	7
22	414	384	265	360	0	4	7
23	400	390	260	356	0	4	7
24	402	381	262	352	0	4	7
25	406	385	261	354	0	4	7
Rata-rata	404,76	384,84	264,44	358,6	0	4	7

Input B1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	B1	D1
1	363	420	411	321	0	7	0
2	361	413	405	319	0	7	0
3	366	418	406	327	0	7	0
4	362	415	401	325	0	7	0
5	358	417	413	329	0	7	0
6	361	423	407	323	0	7	0
7	357	417	411	325	0	7	0
8	363	418	408	320	0	7	0
9	362	422	404	324	0	7	0
10	358	420	401	317	0	7	0
11	355	414	407	320	0	7	0
12	361	428	402	321	0	7	0
13	357	425	405	315	0	7	0
14	359	426	412	319	0	7	0
15	361	423	403	320	0	7	0
16	360	419	406	317	0	7	0
17	356	415	410	323	0	7	0
18	358	421	408	322	0	7	0
19	355	426	403	324	0	7	0
20	360	422	402	321	0	7	0
21	358	424	407	320	0	7	0

22	356	423	401	322	0	7	0
23	362	417	405	318	0	7	0
24	358	414	408	324	0	7	0
25	355	418	400	318	0	7	0
Rata-rata	359,28	419,92	405,84	321,36	0	7	0
Input C1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	A1	D1
1	260	374	452	411	0	0	0
2	267	376	456	415	0	0	0
3	264	368	446	410	0	0	0
4	263	377	459	416	0	0	0
5	261	373	455	412	0	0	0
6	262	370	449	407	0	0	0
7	264	372	444	413	0	0	0
8	266	376	450	410	0	0	0
9	259	373	446	409	0	0	0
10	261	370	452	408	0	0	0
11	263	369	449	412	0	0	0
12	259	372	447	411	0	0	0
13	260	370	443	415	0	0	0
14	264	367	442	410	0	0	0
15	262	374	446	413	0	0	0
16	261	368	452	415	0	0	0
17	257	370	451	410	0	0	0
18	262	366	458	409	0	0	0
19	263	372	455	416	0	0	0
20	262	371	449	411	0	0	0
21	260	369	446	418	0	0	0
22	264	371	452	413	0	0	0
23	263	366	451	415	0	0	0
24	264	369	448	417	0	0	0
25	266	372	446	410	0	0	0

Rata-rata	262,28	371	449,76	412,24	0	0	0
-----------	--------	-----	--------	--------	---	---	---

Input D1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	A1
1	381	351	398	430	4	0	0
2	386	347	391	426	4	0	0
3	385	352	395	425	4	0	0
4	391	355	396	423	4	0	0
5	385	350	390	419	4	0	0
6	386	346	393	422	4	0	0
7	387	351	397	420	4	0	0
8	388	355	386	416	4	0	0
9	384	352	390	414	4	0	0
10	389	349	385	422	4	0	0
11	387	357	389	418	4	0	0
12	383	354	387	414	4	0	0
13	382	356	392	410	4	0	0
14	384	354	390	413	4	0	0
15	382	357	387	417	4	0	0
16	385	358	388	420	4	0	0
17	386	356	393	412	4	0	0
18	383	351	386	415	4	0	0
19	381	346	391	418	4	0	0
20	382	354	388	411	4	0	0
21	380	348	385	413	4	0	0
22	385	351	394	410	4	0	0
23	381	357	391	412	4	0	0
24	383	356	386	414	4	0	0
25	380	352	385	416	4	0	0
Rata-rata	384,24	352,6	390,12	417,2	4	0	0

2. Pada Directional Coupler dengan Panjang Kupasan 40 mm

Input A1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	D1	C1
1	436	411	148	404	20	23	0
2	435	414	146	402	20	23	0
3	438	413	149	401	20	23	0
4	433	416	147	397	20	23	0
5	434	412	144	398	20	23	0
6	433	410	145	399	20	23	0
7	436	411	148	400	20	23	0
8	437	417	146	401	20	23	0
9	434	412	147	398	20	23	0
10	430	414	144	397	20	23	0
11	437	415	149	403	20	23	0
12	432	409	148	399	20	23	0
13	436	415	146	406	20	23	0
14	437	412	145	400	20	23	0
15	432	410	147	402	20	23	0
16	435	416	144	398	20	23	0
17	430	412	141	400	20	23	0
18	438	411	143	396	20	23	0
19	437	416	145	402	20	23	0
20	436	412	147	395	20	23	0
21	432	409	146	397	20	23	0
22	435	415	147	402	20	23	0
23	436	412	144	402	20	23	0
24	433	411	142	398	20	23	0
25	434	415	144	406	20	23	0
Rata-rata	434,64	412,8	145,68	400,12	20	23	0

Input B1		
No.	Output (au)	Balik (au)

	A2	B2	C2	D2	A1	C1	D1
1	395	444	391	122	0	0	0
2	399	448	392	119	0	0	0
3	398	442	394	118	0	0	0
4	397	446	391	121	0	0	0
5	394	448	396	122	0	0	0
6	393	447	395	119	0	0	0
7	396	440	393	118	0	0	0
8	397	442	392	120	0	0	0
9	394	439	394	117	0	0	0
10	399	441	397	118	0	0	0
11	396	443	395	119	0	0	0
12	398	440	392	116	0	0	0
13	392	438	396	118	0	0	0
14	394	442	393	117	0	0	0
15	396	438	391	115	0	0	0
16	393	439	390	117	0	0	0
17	397	442	396	116	0	0	0
18	392	441	393	118	0	0	0
19	396	439	397	119	0	0	0
20	394	444	398	116	0	0	0
21	393	446	401	115	0	0	0
22	398	438	403	117	0	0	0
23	399	444	400	114	0	0	0
24	396	445	397	116	0	0	0
25	394	442	398	114	0	0	0
Rata-rata	395,6	442,32	395	117,64	0	0	0
Input C1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	A1	D1
1	128	398	418	330	0	0	0
2	127	397	412	325	0	0	0
3	130	395	415	328	0	0	0

4	127	392	416	327	0	0	0
5	126	393	420	331	0	0	0
6	129	399	419	328	0	0	0
7	132	400	416	330	0	0	0
8	130	395	415	325	0	0	0
9	131	397	418	329	0	0	0
10	127	398	417	327	0	0	0
11	128	396	422	328	0	0	0
12	129	392	421	330	0	0	0
13	127	394	415	329	0	0	0
14	131	392	416	332	0	0	0
15	129	395	419	330	0	0	0
16	130	397	420	331	0	0	0
17	128	395	414	332	0	0	0
18	126	402	416	327	0	0	0
19	128	399	418	331	0	0	0
20	129	398	419	329	0	0	0
21	127	395	417	332	0	0	0
22	130	401	418	333	0	0	0
23	126	396	420	330	0	0	0
24	127	402	421	329	0	0	0
25	125	397	419	332	0	0	0
Rata-rata	128,28	396,6	417,64	329,4	0	0	0

Input D1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	A1
1	337	147	295	417	0	0	0
2	342	144	292	414	0	0	0
3	338	146	294	420	0	0	0
4	340	149	293	418	0	0	0
5	344	150	288	422	0	0	0
6	341	151	289	419	0	0	0

7	339	148	290	421	0	0	0
8	343	152	291	415	0	0	0
9	337	149	287	413	0	0	0
10	340	150	291	415	0	0	0
11	341	146	289	416	0	0	0
12	343	147	290	414	0	0	0
13	339	150	293	422	0	0	0
14	336	148	294	418	0	0	0
15	337	147	292	417	0	0	0
16	344	149	288	422	0	0	0
17	342	146	296	423	0	0	0
18	341	148	291	419	0	0	0
19	343	152	292	422	0	0	0
20	339	146	288	420	0	0	0
21	343	145	294	416	0	0	0
22	340	148	290	422	0	0	0
23	338	150	292	425	0	0	0
24	337	147	290	420	0	0	0
25	341	145	288	424	0	0	0
Rata-rata	340,2	148	291,08	418,96	0	0	0

3. Pada Directional Coupler dengan Panjang Kupasan 45 mm

Input A1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	D1	B1	C1
1	439	402	272	423	0	31	21
2	440	404	271	421	0	31	21
3	436	405	272	425	0	31	21
4	439	402	273	424	0	31	21
5	437	401	275	428	0	31	21
6	441	400	271	431	0	31	21
7	435	397	274	422	0	31	21
8	436	398	270	425	0	31	21

9	440	403	269	428	0	31	21
10	441	400	273	429	0	31	21
11	439	397	271	433	0	31	21
12	436	399	269	428	0	31	21
13	437	401	268	431	0	31	21
14	434	404	271	430	0	31	21
15	436	403	272	427	0	31	21
16	441	402	269	424	0	31	21
17	438	407	273	425	0	31	21
18	433	404	270	430	0	31	21
19	436	399	271	428	0	31	21
20	435	397	268	429	0	31	21
21	439	402	272	427	0	31	21
22	433	401	274	430	0	31	21
23	437	398	271	431	0	31	21
24	441	397	270	428	0	31	21
25	440	400	269	427	0	31	21
Rata-rata	437,56	400,92	271,12	427,36	0	31	21

Input B1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	C1	D1
1	368	447	428	157	0	0	0
2	369	445	430	159	0	0	0
3	373	442	424	161	0	0	0
4	370	444	429	160	0	0	0
5	372	448	427	159	0	0	0
6	370	450	423	158	0	0	0
7	371	448	422	161	0	0	0
8	369	449	424	160	0	0	0
9	367	447	425	157	0	0	0
10	372	451	426	159	0	0	0
11	373	450	422	158	0	0	0

12	370	448	426	156	0	0	0
13	369	446	428	157	0	0	0
14	371	447	429	161	0	0	0
15	372	449	430	160	0	0	0
16	374	448	427	156	0	0	0
17	372	450	424	157	0	0	0
18	369	446	425	159	0	0	0
19	370	447	427	160	0	0	0
20	372	448	430	158	0	0	0
21	369	451	425	157	0	0	0
22	371	446	426	161	0	0	0
23	373	447	425	159	0	0	0
24	371	448	424	157	0	0	0
25	369	446	427	158	0	0	0
Rata-rata	370,64	447,52	426,12	158,6	0	0	0
Input C1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	D1	A1	B1
1	137	382	444	338	0	0	11
2	136	383	441	335	0	0	11
3	138	384	447	337	0	0	11
4	133	380	446	341	0	0	11
5	136	381	443	340	0	0	11
6	135	385	442	337	0	0	11
7	132	384	438	338	0	0	11
8	138	383	439	334	0	0	11
9	136	385	441	335	0	0	11
10	135	383	440	336	0	0	11
11	134	387	441	335	0	0	11
12	133	386	438	337	0	0	11
13	135	384	439	333	0	0	11
14	136	382	437	337	0	0	11
15	137	387	440	340	0	0	11

16	136	383	441	338	0	0	11
17	133	384	439	339	0	0	11
18	135	386	438	336	0	0	11
19	134	389	436	338	0	0	11
20	133	387	440	334	0	0	11
21	136	388	437	335	0	0	11
22	132	387	438	337	0	0	11
23	133	389	440	338	0	0	11
24	134	386	438	336	0	0	11
25	135	384	437	334	0	0	11
Rata-rata	134,88	384,76	440	336,72	0	0	11

Input D1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	B1	C1
1	420	245	419	441	0	12	0
2	421	247	418	440	0	12	0
3	423	246	417	438	0	12	0
4	418	247	415	443	0	12	0
5	420	248	417	437	0	12	0
6	422	245	415	439	0	12	0
7	421	250	416	442	0	12	0
8	419	249	419	440	0	12	0
9	418	251	418	441	0	12	0
10	422	252	414	443	0	12	0
11	416	245	418	444	0	12	0
12	417	246	415	443	0	12	0
13	420	247	412	440	0	12	0
14	418	244	414	437	0	12	0
15	421	246	415	438	0	12	0
16	419	245	416	442	0	12	0
17	416	244	413	443	0	12	0
18	418	244	412	439	0	12	0

19	420	248	414	442	0	12	0
20	422	249	413	445	0	12	0
21	421	250	411	443	0	12	0
22	415	247	415	439	0	12	0
23	417	245	417	440	0	12	0
24	422	246	414	441	0	12	0
25	423	248	416	443	0	12	0
Rata-rata	419,56	246,96	415,32	440,92	0	12	0

4. Pada Directional Coupler dengan Panjang Kupasan 50 mm

Input A1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	D1	C1
1	402	357	125	356	0	0	36
2	399	356	127	353	0	0	36
3	396	352	124	352	0	0	36
4	392	360	123	348	0	0	36
5	398	353	128	353	0	0	36
6	395	355	124	351	0	0	36
7	394	358	122	347	0	0	36
8	401	354	125	350	0	0	36
9	393	356	126	351	0	0	36
10	391	352	127	349	0	0	36
11	395	357	125	347	0	0	36
12	401	359	126	350	0	0	36
13	397	356	128	353	0	0	36
14	402	350	129	351	0	0	36
15	395	353	126	349	0	0	36
16	397	357	128	348	0	0	36
17	390	354	130	355	0	0	36
18	395	352	131	348	0	0	36
19	396	356	125	352	0	0	36
20	392	355	124	350	0	0	36

21	391	352	126	353	0	0	36
22	394	354	125	349	0	0	36
23	395	353	127	347	0	0	36
24	391	356	128	350	0	0	36
25	392	357	126	351	0	0	36
Rata-rata	395,36	354,96	126,2	350,52	0	0	36

Input B1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	D1	C1
1	333	431	344	131	0	0	26
2	336	428	346	136	0	0	27
3	337	426	342	134	0	0	27
4	335	430	343	135	0	0	27
5	341	425	342	137	0	0	27
6	340	428	341	132	0	0	27
7	337	426	339	134	0	0	27
8	339	422	335	130	0	0	27
9	341	424	334	134	0	0	27
10	336	425	336	135	0	0	27
11	338	427	340	133	0	0	27
12	342	426	336	132	0	0	27
13	334	430	335	130	0	0	27
14	332	424	337	131	0	0	27
15	334	428	338	133	0	0	27
16	335	420	343	132	0	0	27
17	331	423	344	134	0	0	27
18	336	430	334	131	0	0	27
19	337	425	338	135	0	0	27
20	336	429	340	132	0	0	27
21	337	423	337	133	0	0	27
22	339	422	336	130	0	0	27
23	335	426	340	131	0	0	27

24	339	424	341	132	0	0	27
25	338	422	336	130	0	0	27
Rata-rata	336,72	425,76	339,08	132,68	0	0	26,96
Input C1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	B1	D1
1	128	342	404	355	27	7	0
2	127	340	409	356	27	7	0
3	126	341	404	358	27	7	0
4	125	338	400	353	27	7	0
5	122	337	401	356	27	7	0
6	123	339	403	355	27	7	0
7	121	340	405	354	27	7	0
8	122	337	406	357	27	7	0
9	126	334	410	356	27	7	0
10	124	336	407	352	27	7	0
11	123	338	406	354	27	7	0
12	121	340	405	351	27	7	0
13	120	341	402	352	27	7	0
14	124	343	407	355	27	7	0
15	123	339	410	360	27	7	0
16	121	336	403	362	27	7	0
17	120	338	407	358	27	7	0
18	121	337	405	357	27	7	0
19	125	335	406	361	27	7	0
20	126	341	410	362	27	7	0
21	122	342	405	358	27	7	0
22	121	341	402	362	27	7	0
23	124	343	404	359	27	7	0
24	123	339	408	361	27	7	0
25	121	340	406	365	27	7	0
Rata-rata	123,16	339,08	405,4	357,16	27	7	0

Input D1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	A1	C1	B1
1	298	124	341	395	7	0	0
2	296	125	342	399	7	0	0
3	299	127	340	397	7	0	0
4	297	122	338	396	7	0	0
5	295	123	341	395	7	0	0
6	301	124	339	399	7	0	0
7	304	125	342	396	7	0	0
8	298	126	337	400	7	0	0
9	302	127	338	404	7	0	0
10	303	126	342	402	7	0	0
11	299	127	341	401	7	0	0
12	297	128	342	403	7	0	0
13	300	129	343	399	7	0	0
14	301	126	338	405	7	0	0
15	295	128	337	397	7	0	0
16	301	130	340	398	7	0	0
17	300	131	339	401	7	0	0
18	305	125	342	402	7	0	0
19	303	126	339	405	7	0	0
20	306	127	341	406	7	0	0
21	301	125	342	400	7	0	0
22	398	127	340	397	7	0	0
23	305	128	337	402	7	0	0
24	302	126	341	399	7	0	0
25	303	127	339	400	7	0	0
Rata-rata	304,36	126,36	340,04	399,92	7	0	0

5. Pada Directional Coupler dengan Panjang Kupasan 55 mm

Input A1

No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	D1
1	460	444	320	434	13	0	0
2	459	445	317	442	13	0	0
3	464	443	311	438	13	0	0
4	463	446	312	441	13	0	0
5	465	447	318	435	13	0	0
6	466	441	312	442	13	0	0
7	468	436	317	438	13	0	0
8	464	445	319	443	13	0	0
9	463	440	320	439	13	0	0
10	464	444	322	441	13	0	0
11	469	438	318	437	13	0	0
12	465	447	317	443	13	0	0
13	467	445	319	441	13	0	0
14	466	443	322	438	13	0	0
15	465	447	321	436	13	0	0
16	464	444	317	439	13	0	0
17	468	443	316	440	13	0	0
18	471	446	318	441	13	0	0
19	466	443	321	439	13	0	0
20	467	446	320	436	13	0	0
21	464	437	316	440	13	0	0
22	470	448	320	441	13	0	0
23	467	441	322	437	13	0	0
24	468	448	317	440	13	0	0
25	465	443	321	435	13	0	0
Rata-rata	465,52	443,6	318,12	439,04	13	0	0

Input B1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	D1	C1
1	453	478	457	282	23	0	6

2	450	477	458	283	23	0	6
3	446	480	452	280	23	0	6
4	448	483	455	279	23	0	6
5	453	479	457	278	23	0	6
6	449	481	456	280	23	0	6
7	445	479	458	283	23	0	6
8	448	482	460	282	23	0	6
9	445	476	458	279	23	0	6
10	452	475	456	284	23	0	6
11	448	481	455	282	23	0	6
12	451	477	457	283	23	0	6
13	447	479	456	281	23	0	6
14	451	483	455	279	23	0	6
15	448	482	453	278	23	0	6
16	451	480	456	276	23	0	6
17	450	478	457	278	23	0	6
18	447	475	459	279	23	0	6
19	446	476	454	281	23	0	6
20	445	478	453	282	23	0	6
21	446	481	458	277	23	0	6
22	447	476	456	283	23	0	6
23	453	478	460	278	23	0	6
24	448	481	459	279	23	0	6
25	452	479	455	282	23	0	6
Rata-rata	448,76	478,96	456,4	280,32	23	0	6

Input C1

No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	A1	D1
1	269	422	450	433	0	0	0
2	272	421	448	431	0	0	0
3	264	418	445	432	0	0	0
4	265	424	447	431	0	0	0
5	267	416	446	428	0	0	0

6	263	417	449	426	0	0	0
7	265	419	452	432	0	0	0
8	270	420	446	429	0	0	0
9	262	422	445	430	0	0	0
10	267	424	448	429	0	0	0
11	266	426	448	430	0	0	0
12	268	421	449	424	0	0	0
13	269	420	450	429	0	0	0
14	267	418	445	426	0	0	0
15	265	419	446	431	0	0	0
16	269	420	447	426	0	0	0
17	267	422	450	432	0	0	0
18	270	423	446	427	0	0	0
19	271	426	448	429	0	0	0
20	268	424	449	430	0	0	0
21	267	422	447	428	0	0	0
22	272	421	448	432	0	0	0
23	270	420	445	426	0	0	0
24	269	424	447	429	0	0	0
25	268	420	448	428	0	0	0
Rata-rata	267,6	421,16	447,56	429,12	0	0	0

Input D1							
No.	Output (au)				Balik (au)		
	A2	B2	C2	D2	B1	C1	A1
1	428	309	422	448	0	0	0
2	430	312	423	446	0	0	0
3	429	306	425	447	0	0	0
4	428	314	426	450	0	0	0
5	427	308	422	454	0	0	0
6	428	311	428	452	0	0	0
7	428	310	425	449	0	0	0
8	424	314	424	453	0	0	0

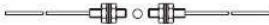





9	425	315	423	447	0	0	0
10	427	309	429	446	0	0	0
11	426	312	426	445	0	0	0
12	428	311	427	451	0	0	0
13	429	308	430	453	0	0	0
14	430	304	428	451	0	0	0
15	428	305	425	449	0	0	0
16	431	310	426	448	0	0	0
17	429	308	428	447	0	0	0
18	438	306	427	448	0	0	0
19	426	307	429	450	0	0	0
20	427	311	430	452	0	0	0
21	426	312	428	448	0	0	0
22	428	314	426	449	0	0	0
23	425	309	424	447	0	0	0
24	429	306	425	446	0	0	0
25	427	305	428	445	0	0	0
Rata-rata	428,04	309,44	426,16	448,84	0	0	0

LAMPIRAN B










Datasheet Serat Optik FD-620-10

Fiber Optic Cable

■ Specifications(Transmitted beam)

Dimension	Model	(Note1) Cable length(L)	(Note2) Sensing distance (mm)	(Note3) Min. sensing target
Free cut 	FT-320-05	2m	150	φ 0.5
Free cut 	FT-420-10	2m	500	φ 1
Free cut Cylinder type 	FTC-220-05	2m	150	φ 0.5
Free cut Cylinder type 	FTC-320-10	2m	500	φ 1
Free cut SUS Cylinder type 	FTCS-220-05	2m	150	φ 0.5
Free cut Plastic type 	FTP-320-10	2m	500	φ 1

■ Specifications(Diffuse reflective)

Dimension	Model	(Note1) Cable length(L)	(Note2) Sensing distance (mm)	(Note3) Min. sensing target
Free cut 	FD-320-05	2m	40	φ 0.03
Free cut 	FD-420-05	2m	40	φ 0.03
Free cut 	FD-620-10	2m	120	φ 0.03
Free cut Cylinder type 	FDC-320-05	2m	40	φ 0.03
Free cut SUS Cylinder type 	FDCS-320-05	2m	40	φ 0.03
Free cut Plastic type 	FDP-320-10	2m	120	φ 0.03
Free cut SUS type 	FDS-320-05 FDS2-320-05	2m	40	φ 0.03
Free cut SUS type 	FDS-420-05 FDS2-420-05	2m	40	φ 0.03
Free cut SUS type 	FDS-620-10 FDS2-620-10	2m	120	φ 0.03

Fiber Optic Cable

■ Dimensions

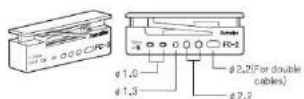
Model	Diffuse reflective
FD-320-05 M3-D0.5 Free cut Adapter	
FD-420-05 M4-D0.5 Free cut Adapter	
FD-620-10 M6-D1.0 Free cut	
FDC-320-05 M3-D0.5 Free cut Adapter	
FDCS-320-05 φ3-D0.5 SUS φ1.5×15mm	

■ Accessory

○ Fiber cutter

Usage : Free cut type, fiber optic cable cutting

● FC-2



○ Adapter

Usage : should be used.



*Note1)
The inside diameter φ1.0(Standard and black)
The inside diameter φ1.3(Only applied to the receiver of
FD-320-F1 and dark gray.)

(Unit:mm)

Unit:mm

(N)
Shipping
material &
Driver &
Controller

(D)
Graphic
panel

(F)
Production
shipping
material &
reference

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 susunan planar maupun susunan persegi dari serat optik mode jamak dengan pendekatan metode *Fused Biconical Taperred* (FBT) dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm menghasilkan *directional coupler* dengan hasil karakterisasi yang berbeda serta memenuhi standar fabrikasi.
2. Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 susunan persegi lebih baik dan lebih mampu digunakan sebagai piranti pemecah berkas maupun pembagi daya dibandingkan dengan susunan planar.
3. Hasil fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 susunan planar maupun susunan persegi dengan variasi panjang kupasan menunjukkan semakin besar panjang kupasan maka semakin besar rugi daya dan semakin kecil intensitas cahaya yang diteruskan.
4. Hasil karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 4×4 susunan persegi menggunakan BF5R-D1-N didapatkan bahwa *directional coupler* hasil fabrikasi susunan persegi dengan panjang kupasan 35 mm dan *input* pada Port B1 menunjukkan bahwa nilai CR = 0,24 : 0,28 : 0,27 : 0,21 dan Le = -3,39 dB, sedangkan pada port D1 menunjukkan bahwa nilai CR = 0,25 : 0,23 : 0,25 : 0,27 dan Le = -3,28 dB. Piranti ini paling baik digunakan sebagai pembagi daya maupun pemecah berkas sehingga selanjutnya dapat digunakan sebagai piranti dalam sensor.

5.2 Saran

Dari hasil penulisan tugas akhir ini disarankan :

1. Proses pengupasan serat optik menggunakan larutan *acetone* untuk mendapatkan hasil yang lebih halus dibandingkan pengupasan menggunakan *cutter*.
2. Pengupasan serat optik pada *directional coupler* susunan persegi dikupas dengan cara mengupas serat optik dengan 180° yaitu serat optik dikupas setengah bagian bawah dan setengahnya tidak dikupas.
3. Pada *directional coupler* konfigurasi 4×4 susunan persegi dilakukan pelapisan menggunakan *resin* atau lem *epoxy* pada bagian kopling setelah diikat oleh benang sebagai substrat pengganti *cladding*.
4. Pada *directional coupler* konfigurasi 4×4 susunan persegi dibuat lebih banyak variasi panjang kupasan pada rentang <35 mm dengan selisih rentang yang lebih kecil (misal: 3mm) untuk mengetahui pada panjang kupasan berapa daya terbagi rata.
5. Untuk penelitian selanjutnya pada *directional coupler* konfigurasi 4×4 susunan persegi untuk bagian proses fabrikasi dilakukan metode lain yaitu *heating and pressing* untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dengan menjadikan empat serat optik memiliki satu inti untuk menghasilkan *directional coupler* dengan daya yang terbagi rata sehingga sangat baik digunakan sebagai piranti dalam sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, Govind P.2002.**Fiber Optik Communication Systems 3th Edition**.New York: John-Wiley & Sons, Inc.
- Crisp, J.2001.**Introduction to Fiber Optics 2nd Edition**.Oxford: Jordan Hill.
- Crisp, J., dan Elliott, B. 2005. **Introduction to Fiber Optics**. Oxford: Jordan Hill.
- Giancoli, Douglas.C.2005. **Physics: Principles with Applications Sixth Edition**. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hariyanto, E.2011.**Aplikasi Directional Coupler Serat Optik Mode Jamak Sebagai Sensor Getaran Berbasis Modulasi Intensitas**. Thesis, Fisika-Fmipa, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hoss, R.1993.**Fiber Optics 2nd Edition**. New Jersey: Prentice-Hall.
- Keiser, Gerd.1991.**Optical Fiber Communications 2nd Edition**. New York: McGraw-Hill
- Keiser, G. 1984. **Optical Fiber Communication**. New York: McGraw-Hill.
- Kim, Kwang Taek, dkk.2013. **Fabrication and Characterization of N×N Plastic Optical Fiber Star Coupler based on Fused Combining**. Korean Journal of Optics and Photonics, Vol.24 No.1 Daegu, Korea.
- Krohn, D.A.2000.**Fiber Optic Sensors: Fundamentals and Applications 3rd**. Pennsylvania State University: Isa.
- Kumar A., dkk. 1989. **Lightwave Technology**. LT-7 293.
- Kumar A., dkk. 1991. “Design of a 4×4 Fiber Coupler with Equal Power Splitting at Two Different Wavelengths”. Vol.81 No. 3,4, Indian Institute of Technology, Hauz Khas, New Delhi.
- Leno, Frank. 1993. **Introduction to Optics 2nd edition**. United States America: Prentice-Hall.
- Mortimore, D.B.1990. **Applications Optics** 29. 371.

- Powers, John.1997.**An Introduction To Fiber Optic Systems 2nd edition**. New York: McGraw-Hill.
- Pramono, Yono Hadi, dkk.2008.”Aplikasi Directional Coupler Serat Optik sebagai Sensor Pergeseran”. **Jurnal Fisika dan Aplikasinya**, Vol.4 No.2 Surabaya.
- Rohedi, A.Y. 1997. **Perancangan Directional Coupler untuk Aplikasi WDM Struktur 4×4**. Thesis, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Saleh, B.E.A., and Teich, M.C.2007.**Fundamentals of Photonics**. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Samian, dkk.2008.”Fabrikasi Directional Coupler Serat Optik Multimode”. **Jurnal Fisika dan Aplikasinya**, Vol.4 No.2 Surabaya.
- Sekartedjo, dkk. 2007. **Study of Switching Characteristics in Directional Coupler**. International Symposium of Modern Optics and ITS Applications (ISMOA), Departement of Physics ITB Agust 6-10 2007, Bandung.
- Supadi, dkk.2006.”Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler Sebagai Devais Pembagi Daya”. **Jurnal Fisika dan Aplikasinya**, Vol.2 No.1 Surabaya.
- Widodo.1995.Optoelektronika.Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Yaqin, Mohammad Ainul.2015. **Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler Konfigurasi 33 Planar Berbahan Serat Optik Plastik Step-Index Moda Jamak Tipe FD-620-10**.Tugas Akhir, Fisika-Fmipa, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.



Penulis berasal dari kota Surabaya dan dilahirkan di kota yang sama pada tanggal 27 Juni 1993. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dan telah menempuh pendidikan formal di SDN Pacar Keling 1 Surabaya, SMP Negeri 18 Surabaya dan SMA Negeri 3 Surabaya. Penulis diterima di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam - Institut Teknologi

Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN Tulis dengan mendapatkan beasiswa Bidikmisi dan terdaftar sebagai mahasiswa ITS dengan NRP 1112100024. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi mahasiswa antara lain sebagai staf Departemen Ekonomi HIMASIKA ITS (2013-2014) dan staf Departemen Ekonomi dan Sosial BEM FMIPA ITS (2013-2014). Dalam hal akademik, penulis pernah memegang peran sebagai asisten laboratorium untuk fisika laboratorium bidang Optoelektronika. Selain kegiatan organisasi dan akademik, diluar itu penulis juga sedang menjalankan bisnis dalam bidang *bakery*. Akhir kata bila ada kritik dan saran bias dikirim ke : ryanuar27@gmail.com